



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEOTECHNIKY

INSTITUTE OF GEOTECHNICS

POSOUZENÍ NÁVRHU SANACE TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO NÁSYPU

EVALUATION OF THE REMEDIAL WORKS IN RAILWAY EMBANKMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Vašina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ing. JAN ŠTEFAŇÁK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Adam Vašina
Název	Posouzení návrhu sanace tělesa železničního násypu
Vedoucí práce	Ing. Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 1997-1, Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla, 2006. Praha: ČNI Český normalizační institut.

SVOBODA, Petr, 2009. Hlubkové zlepšování zemin v české praxi. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-663-8.

KOERNER, Robert M., 2005. Designing with geosynthetics. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. ISBN 9780131454156.

LI, Dingqing, James P HYSLIP, Theodore R SUSSMANN a S. M CHRISMER, [2016]. Railway geotechnics. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-0415695015.

MADHAVI, L. G., R. KARPURAPU a N. R. KRISHNASWAMY, 2000. Interfacial Friction Properties Of Geocell Reinforced Soil. In: ISRM International Symposium, 19-24 November: ISRM-IS-2000-288. Melbourne, Australia: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, s. 1-6.

ARDIACA, D. H., 2009. Mohr-Coulomb parameters for modelling of concrete structures: Spring Issue 2009. PLAXIS Bulletin [online]. 12-15 [cit. 2018-10-18]. Dostupné z: <https://www.plaxis.com/>

HEDGE, A. a S. G. THALLAK, 2013. Experimental and numerical studies on geocell reinforced sand beds. In: Proceedings of Geosynthetics 2013. Long Beach, California, USA, s. 119-126.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Úkolem studenta je:

-Zpracování literární rešerše zaměřené na metody sanace tělesa železničního spodku a na hlubkové zlepšování zemin;

-Výběr konstitučních modelů a stanovení jejich parametrů pro provedení numerického výpočtu posuzovaných sanačních opatření;

-Zhodnocení navrženého sanačního opatření (z hlediska velikosti deformací a stability tělesa) na základě výsledků MKP výpočtů.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Součástí projektu „Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou“ je sanace nevyhovujícího železničního náspu na trati Brno-Havlíčkův Brod. Předmětem práce je posouzení sanačních opatření v programu Plaxis 2D a seznámení se se základními typy sanací na tratích ČR.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železniční násep, Plaxis 2D, metoda konečných prvků (MKP), hloubkové zlepšování zemin, deep soil mixing, geobuňky, stabilita, navrhování pražcového podloží, deformace, únosnost, geotextilie

ABSTRACT

Project „Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou“ contains remedial works of inconvenient railway embankment between Brno-Havlíčkův Brod. This document is about appraisal of remedial works in software Plaxis 2D and with summary of basic remedial works in railways in Czech Republic.

KEYWORDS

Railway embankment, Plaxis 2D, finite element method (FEM), vertical improvement of soil, deep soil mixing, geocells, stability, designing of railway bases, deformation, bearing capacity, geotextile

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Adam Vašina *Posouzení návrhu sanace tělesa železničního násypu*. Brno, 2020. 55 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Posouzení návrhu sanace tělesa železničního násypu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 4. 6. 2020

Adam Vašina
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Posouzení návrhu sanace tělesa železničního násypu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 4. 6. 2020

Adam Vašina
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. & Ing. Janu Štefaňákovi PhD., za vstřícný přístup, odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během řešení mé bakalářské práce. Rád bych také poděkoval svým rodičům za jejich neutuchající podporu.

OBSAH

1. ÚVOD.....	3
2. DEFINICE ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA.....	4
3. POUŽÍVANÉ TYPY KONSTRUKCÍ PRAŽCOVÉHO PODLOŽÍ.....	5
3.1 TYP 1.....	5
3.2 TYP 2.....	5
3.3 TYP 3.....	6
3.4 TYP 4.....	6
3.5 TYP 5.....	7
3.6 TYP 6.....	8
3.7 MINIMÁLNÍ POŽADOVANÉ PARAMETRY PODLE TYPU ŽEL. TRATĚ.....	9
4. ÚPRAVY VLASTNOSTÍ ZEMIN TĚLESA ŽEL. SPODKU.....	10
4.1 ZEMINA ZLEPŠENÁ MECHANICKY.....	10
4.2 ZEMINA ZLEPŠENÁ PŘÍMĚSÍ POJIVA.....	10
4.3 STABILIZACE ZEMIN.....	12
4.4 POUŽITELNOST ÚPRAV ZEMIN ZLEPŠENÍM A STABILIZACÍ.....	13
5. GEOSYNTETICKÉ MATERIÁLY V TĚL. ŽEL. SPODKU.....	14
5.1 GEOTEXTILIE (GTX).....	15
5.2 GEOMEMBRÁNY (GBR).....	17
5.3 GEOKOMPOZITY (GCO).....	18
5.4 GEOMŘÍŽKY (GGR).....	19
5.5 GEOBUŇKY (GCE).....	22
5.6 EXPERIMENTY S VYZTUŽENÝMI ZEMINAMI (GGR A GCE).....	22
5.7 SHRNUÍ PŘEDCHOZÍCH METOD SANACÍ.....	25
6. HLOUBKOVÉ ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN.....	26
6.1 VIBRAČNÍ ZHUTŇOVÁNÍ.....	26
6.2 VIBRAČNÍ VPĚCHOVANÍ.....	29
6.3 HLOUBKOVÉ ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN METODOU DEEP SOIL MIXING.....	32
7. POSOUZENÍ NÁVRHU SANACE NÁSPU ŽĎÁR NAD SÁZAVOU.....	35
7.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY.....	35
7.2 GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY.....	35

7.3	PRŮZKUM TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO NÁSPU	37
7.4	SANAČNÍ OPATŘENÍ.....	38
7.5	PŘEDPOKLADY VÝPOČTU	39
7.6	MATERIÁLOVÉ MODELY A VSTUPNÍ PARAMETRY	41
7.7	FÁZE VÝPOČTU	42
7.8	POSOUZENÍ STABILITY NÁSPU PŘED PROVEDENÍM SANACE	44
7.9	POSOUZENÍ STABILTY NÁSPU PRO NAVRŽENÉ SANACE.....	46
8.	ZÁVĚR.....	48
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A MATEM. VÝRAZŮ	49
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	51
11.	SEZNAM TABULEK.....	53
12.	ZDROJE.....	54

1. ÚVOD

V dnešní době se stále častěji setkáváme s nárůstem deformací GPK u železničních liniových staveb a to i v místech, kde dříve tyto poruchy nebyly zaznamenány. Problémy spojené s tělesem železničního spodku a zejména pak svahových nestabilit spočívají v dlouhodobé absenci srážkových úhrnů, které zapříčiňují radikální změny vodního režimu podloží kolejového lože a jsou následně příčinou deformací kolejového roštu. Mezi další, neméně významné problémy, pak patří neustále narůstající frekvence železniční dopravy, která má na konstrukci, zejména náspy těles, rovněž neblahý vliv. V neposlední řadě jsou zde také problémy, které nesouvisí přímo se stabilitou uměle vybudovaného náspu tělesa, ale jsou závažnějšího charakteru, mnohdy souvisejícího s geologickou stavbou širšího okolí.

V rámci efektivního řešení výše uvedených problémů, kdy se vedle technických hledisek musejí brát v úvahu i ta ekonomická, dochází v poslední době na železničních tratích ČR k zavádění progresivních technologií, které za relativně příznivou cenu dokáží uvedené problémy úspěšně řešit. Jednou z těchto technologií je vertikální zlepšování zemin metodou Deep Soil Mixing (DSM), kterou se zabývám i ve své práci.

Cílem této práce je posoudit navržená sanační opatření železničního náspu v rámci projektu: „Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou“.

Práce je rozdělena do 2 částí:

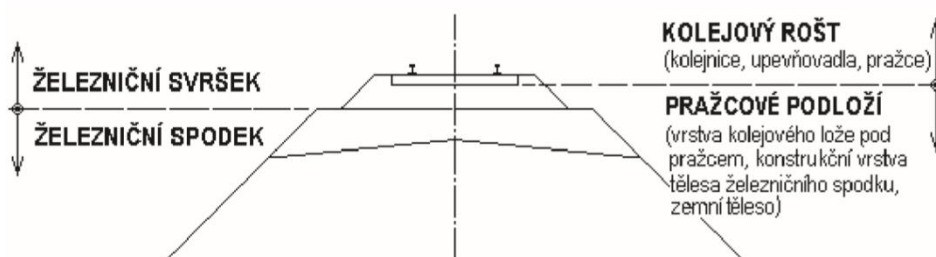
- První část je zaměřena na základní terminologii a požadavky, které vyplývají z předpisu SŽDC S4 a jsou potřebné pro orientaci při návrhu pražcového podloží. Dále se zde zabývám vybranými typy sanací železničního spodku:
 - a) úpravami vlastností zemin
 - b) geosyntetickými materiály
 - c) hloubkovým zlepšováním zemin
- V druhé části práce se věnuji vlastnímu posouzení sanace tělesa železničního náspu pomocí MKP v programu Plaxis 2D. Tomuto posouzení předchází rozbor geologické stavby širšího okolí náspu a data získaná z podrobného geotechnického průzkumu, která jsou nezbytná pro konstituční modely.

2. DEFINICE ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA

Železniční těleso se skládá ze 2 hlavních částí:

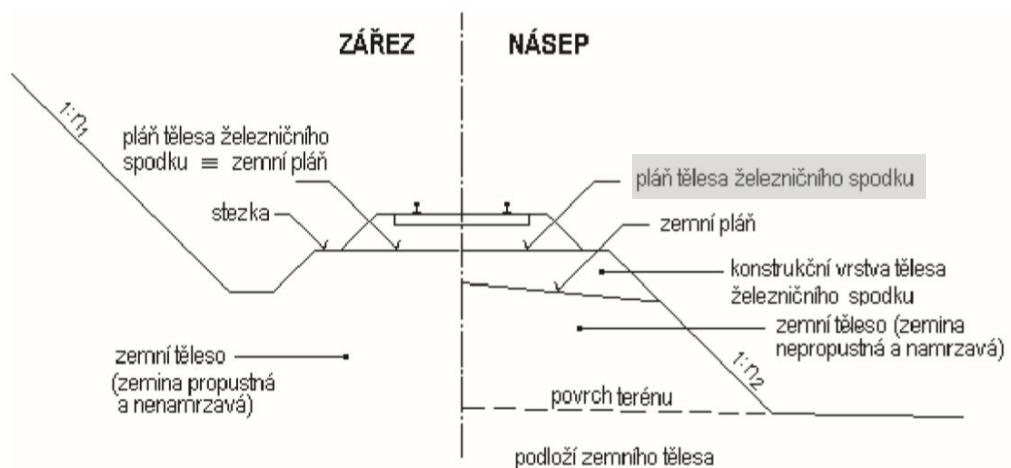
- Železniční svršek – kolejnice, upevňovací prvky, pražce a kolejové lože
- Železniční spodek – těleso železničního spodku, stavby železničního spodku, dopravní plochy a komunikace, drobné kolejiště a zařízení železničního spodku

Pomyslnou hranicí pro rozdělení žel. svršku a žel. spodku je **plán tělesa železničního spodku**.



Obr. 2.1 DĚLENÍ ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA [1]

Další dělení je pak podle způsobu přenášení zatížení. Zatížení od železničních vozidel se přenáší přes kolejnice, upevňovací prvky a pražce (souhrnně kolejový rošt), které jej přenesou do konstrukce pražcového podloží.



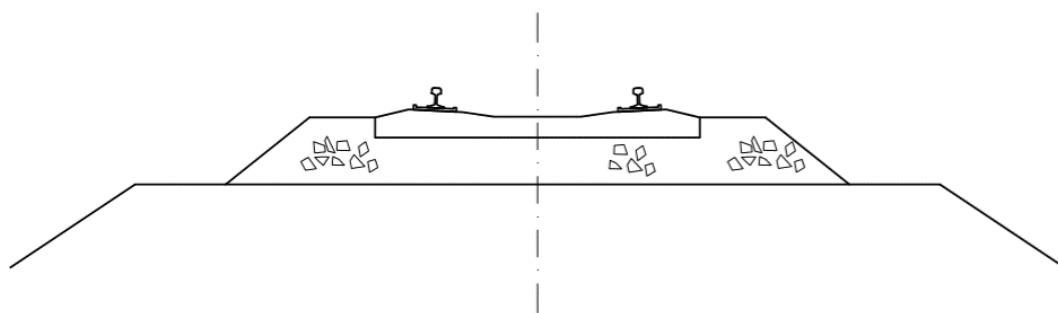
Obr. 2.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA [1]

3. POUŽÍVANÉ TYPY KONSTRUKCÍ PRAŽCOVÉHO PODLOŽÍ

Základní požadavky na konstrukci pražcového podloží jsou splnění minimálních požadovaných hodnot modulu přetvárnosti jak na zemní pláni E_0 , tak na pláni těl. žel. spodku E_{pl} , dále ochrana zemní pláně před nepříznivými účinky mrazu. Mohou to ale být i filtrační kritéria nebo propustnosti. Mezi doporučené konstrukce pražcového podloží podle [1] patří těchto 6 následujících základních typů.

3.1 TYP 1

Tento typ uvažuje pláň tělesa žel. spodku (resp. zemní pláň) za vyhovující bez dalších úprav ve směrech namrzavosti, propustnosti a únosnosti. Těchto poměrů je však dosaženo jen zřídka. Na obr. 3.1 je zobrazen typický řez v náspu pro TYP 1.

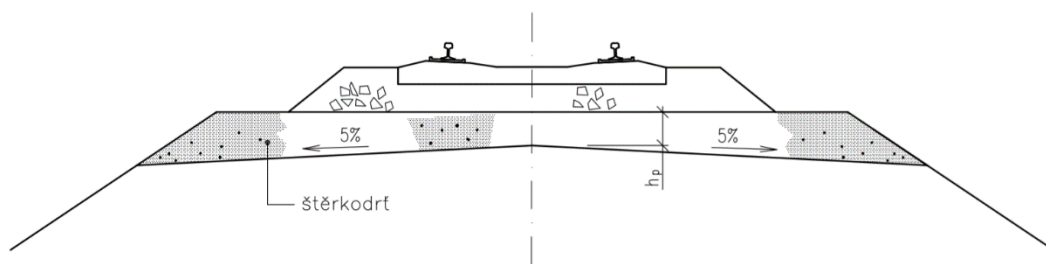


Obr. 3.1 TYP 1 [1]

3.2 TYP 2

Rozdíl oproti předchozímu typu spočívá v přidání konstrukční vrstvy. Tato vrstva, položená na zemní pláň, nám na jejím povrchu vytváří tzv. pláň tělesa žel. spodku.

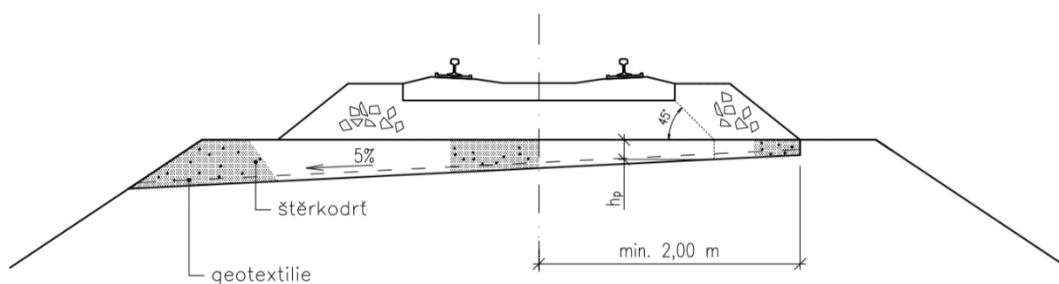
Přidání konstrukční vrstvy nemusí řešit pouze zvýšení únosnosti, ale s vhodně zvolenou mocností slouží i jako ochranná vrstva před nepříznivými účinky mrazu, které by mohly mít negativní vliv na zeminy zemní pláně. Do výpočtu pro ověření tloušťky promrznutí se výška a materiál přidané konstrukční vrstvy převádí na ekvivalentní výšku štěrkopísku v poměru jejich součinitelů tepelné vodivosti.



Obr. 3.2 TYP 2 [1]

3.3 TYP 3

Typ 3 přidává geosyntetikum s funkcemi výztužnými nebo filtračně-separačními. V případě funkce výztužné musí být dodržena podmínka pro jeho použití. Podmínkou je, že zjištěná deformační odolnost zemní pláň musí mít alespoň 60 % minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti na zemní pláni E_0 (tab. 3.1) pro daný typ tratě.



Obr. 3.3 TYP 3 [1]

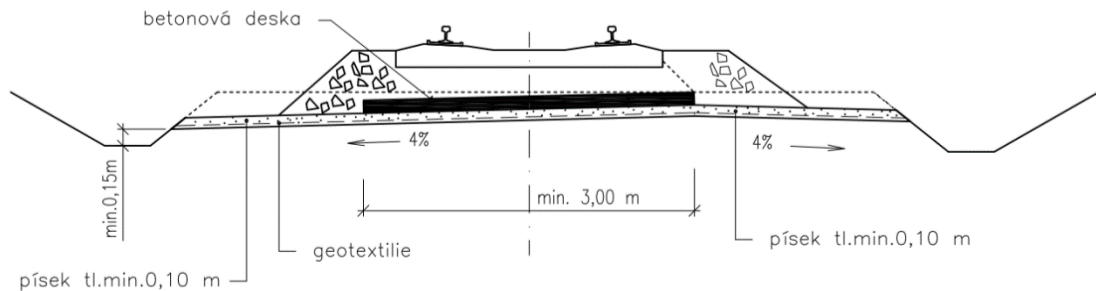
3.4 TYP 4

Typ 4 se v dnešní době nepoužívá a v případě novostaveb zařazených do evropského železničního systému je použití zakázáno. Jedná se o použití prefabrikovaných železobetonových nebo předpjatých desek. Tyto desky slouží jako roznášecí prvky pro zatížení od železničního svršku. Jejich použití je specifikováno pouze na zemní pláň tvořenou ze soudržných zemin.

Desky jsou ukládány na vyrovnávací vrstvu písku nebo štěrkoпísku. Pod touto vrstvou musí být ještě použita filtrační geotextilie, která brání mísení zemin zemní pláň s vyrovnávací vrstvou (v případě, že není splněno filtrační kritérium). Takto

z desek vzniklý pas musí mít pod kolejí šířku minimálně 3 m. Pro správnou funkci odvodnění je zemní pláň upravena do příčného sklonu 4 %.

Existuje však riziko spojené s touto konstrukcí. Vzhledem k tomu, že desky nejsou mezi sebou spojeny a mohou se jednotlivě nerovnoměrně zatlačet do zemní pláně. Tím se poruší geotextilie a vrstvy pod panely včetně kolejového lože nad panely se začínají vzájemně mísit za následného vzniku blátivých míst, tzv. „blátáků“, konstrukce přestává vyhovovat na požadované parametry.



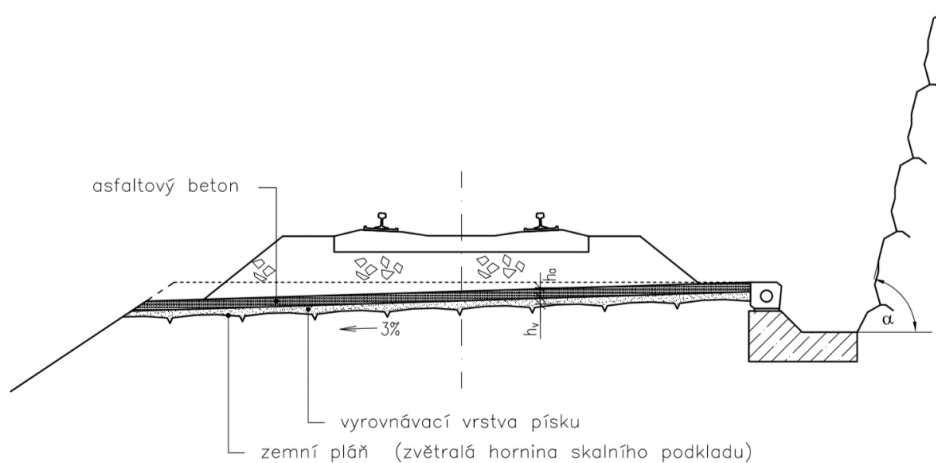
Obr. 3.4 TYP 4 [1]

3.5 TYP 5

Tento typ konstrukce pražcového podloží řeší zakládání na skalním podloží tvořeném horninami třídy R1-R5 a slouží zde zejména jako ochranná vrstva zabraňuje dalšímu zvětrávání hornin v podloží tím, že zabraňují vniku srážkových vod do přímého podloží trati.

Po odtěžení terénu na požadovanou výšku zemní pláně, se nerovnosti vzniklé předchozím těžebním vyplní a srovnají pomocí vyrovnávací vrstvy ze štěrkodrti. Na takto srovnanou vrstvu se buď finišerem nebo jinými metodami zhotoví vrstva asfaltového betonu nebo obalovaného kameniva v tloušťkách nejčastěji 2 x 0,04 m až 2 x 0,06 m. Následuje kolejové lože a kolejový rošt.

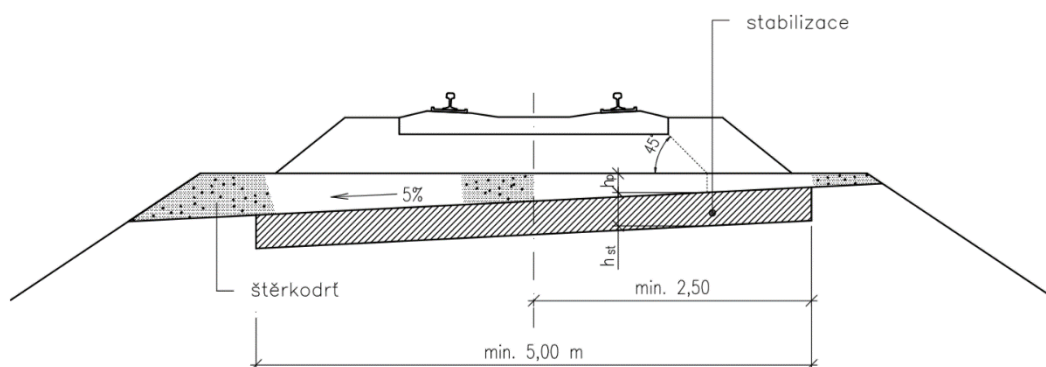
Tloušťka vrstvy kolejového lože musí být buď zesílena nebo se zachová a pod ní se přidá ochranná vrstva ze štěrkodrti tak, aby se zabránilo destrukci asfaltové vrstvy při podbíjení kolejového roštu.



Obr. 3.5 TYP 5 [1]

3.6 TYP 6

Poslední typ 6 je další možnou variantou, jak si poradit s nevyhovujícími parametry na zemní pláni. Proti typu 3, kde je použito geosyntetikum, se v typu 6 použije úprava zeminy zemní pláň, a to buď jejich stabilizací nebo zlepšením. Při použití zlepšení zeminy musí být (dle [1] příloha 13. tab. 3 a tab. 5.) na této vrstvě dosaženo minimálního modulu přetvárnosti $E_{p, \text{zlep}}$ 40 MPa (I_d min 0,9) a při použití stabilizace minimálně $E_{p, \text{stab}}$ 60 MPa (I_d min 0,9). Na takto upravenou zemní pláň se dále navrhují vhodné konstrukční vrstvy, které zajistí předepsanou únosnost na pláni tělesa železničního spodku a také chrání tuto vrstvu před nepříznivými účinky mrazu (kap. 4 a kap 4.4).



Obr. 3.6 TYP 6 [1]

3.7 MINIMÁLNÍ POŽADOVANÉ PARAMETRY PODLE TYPU ŽEL. TRATĚ

Tabulka z předpisu SŽDC S4 nám jasně definuje minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti pro různé druhy tratí a traťových rychlostí. Tyto hodnoty musejí být dodrženy při návrhu a posouzení konstrukce pražcového podloží.

Druh tratě	Minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti	
	E_0 [MPa] na zemní pláni	E_{pi} [MPa] na pláni tělesa železničního spodku
Novostavby:		
- celostátní pro rychlost $160 \text{ km.h}^{-1} < V \leq 200 \text{ km.h}^{-1}$	60	100
- celostátní pro rychlost $V \leq 160 \text{ km.h}^{-1}$	40	80
- regionální	**)	**)
Stávající tratě:		
a) hlavní traťové a hlavní staniční koleje na tratích		
- celostátní pro rychlost $160 \text{ km.h}^{-1} < V \leq 200 \text{ km.h}^{-1}$	**)	**)
- celostátních pro rychlost $120 \text{ km.h}^{-1} \leq V \leq 160 \text{ km.h}^{-1}$	30 ^{*)}	50
- celostátních koridorových pro rychlost menší než 120 km.h^{-1}	20 ^{*)}	50
- celostátních ostatních pro rychlost menší než 120 km.h^{-1}	20 ^{*)}	40
- regionální	15 ^{*)}	30
b) předjízděné koleje ve stanicích na tratích		
- celostátních	20 ^{*)}	40
- regionálních	15 ^{*)}	30
c) ostatní koleje ve stanicích na tratích		
- celostátních	15 ^{*)}	30
- regionálních	15 ^{*)}	20

Vysvětlivka k tab. 1:

*) Je-li zjištěná hodnota modulu přetvárnosti zemní pláně určená dle čl. 8 této přílohy alespoň 60 % minimální požadované únosnosti E_0 , lze ke zvýšení únosnosti konstrukce tělesa železničního spodku navrhnout výztužné geotextilie nebo geomřížky. Na pláni tělesa železničního spodku však musí být dosažena hodnota modulu přetvárnosti E_{pi} dle tab. 1.

***) požadavky se stanoví individuálně na základě podrobného geotechnického průzkumu.

Tab. 3.1 POŽADOVANÉ MINIMÁLNÍ HODNOTY MODULU PŘETVÁRNOSTI [1]

4. ÚPRAVY VLASTNOSTÍ ZEMIN TĚLESA ŽEL. SPODKU

Pokud zemní pláň tvoří nevyhovující zeminy, např. kvůli nedostatečné únosnosti a špatné zpracovatelnosti, můžeme je buď vytěžit a nahradit zeminami vhodnými nebo je ponechat na místě. Vytěžení takových kubatur a jejich úplné nahrazení by bylo velmi nákladné a proto, pokud nám to podmínky dovolí, je vhodnější zvolit jejich úpravu. Úpravy zemin dělíme na zlepšení zemin a stabilizaci, přičemž zlepšení zemin se dále dělí na mechanické zlepšení a zlepšení za použití příměsí.

V případě zemin, u kterých máme problém s jejich zpracováním, například jsou špatně zhutnitelné, využijeme zlepšení. Zlepšíme jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti. V případě použití stabilizace zemina získává požadovanou pevnost v tlaku, což je oproti zlepšení rozdíl. Další odlišností je, že dovolená hloubka promrznutí nesmí dosáhnout více jak 1/3 tloušťky zlepšené zeminy v případě, že je zlepšená zemina nenamrzavá (dle čl. 40 příloha 13 [1]). V případech namrzavých zlepšovaných zemin nesmí zlepšená zemina promrznout. Oproti stabilizaci, které je předepsána pevnost a odolnost proti účinkům mrazu (počet zmrazovacích cyklů a teplota zmrazování).

4.1 ZEMINA ZLEPŠENÁ MECHANICKY

U nevyhovujících soudržných zemin lze použít mechanické zlepšení. Do těchto zemin se přimíchávají jiné, zrnitostně odlišné zeminy, které nám vylepší křivku zrnitosti, což znamená zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností a tedy zpracovatelnosti.

4.2 ZEMINA ZLEPŠENÁ PŘÍMĚSÍ POJIVA

Při tomto postupu se do nevyhovující zeminy přimísí pojivo v podobě například vápna, či cementu. Vhodnosti použití pojiv jsou uvedeny v tab. 4.1.

Pojivo pro úpravu zemin	Druhy zemin dle ČSN 72 1002								
	štěrkovité (hrubozrné) zeminy			písčité (smíšené) zeminy			jemnozrné zeminy		
	GC	GM	G-F	SC	SM	SP	F1-F8	CG+ CS	MG+MS
cement	•	•	•	---	---	•	---	•	•
vápno	•	---	---	•	---	---	•	•	•
vápno s cementem	•	•	---	•	•	---	•	•	•
popílek	•	---	•	---	---	---	•	•	•
struska	---	---	•	•	•	•	---	---	---
chemické	---	---	---	---	---	---	•	•	•
odprašky	---	---	•	•	•	•	---	---	---
mechanické	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Vysvětlivka k tab. 2

- vhodné pojivo

Tab. 4.1 VHODNOST POUŽITÍ PŘÍMĚSÍ (PRO ZLEPŠENÍ I STABILIZACE) [1]

Jako příklad uvažujeme nevhodné jílovité zeminy. U těchto zemin v případě nárůstu vlhkosti dochází ke zhoršení jejich fyzikálně-mechanických vlastností, tím se stávají špatně zpracovatelnými, nedají se nijak ztuhnit natož na nich naměřit dostatečnou deformační odolnost. V tomto případě je použití zlepšení na místě. Složka (příměs) na sebe naváže vodu a jílu částečně vysuší, čímž nám umožní jeho zpracování.

Zpracování zlepšované zeminy probíhá v následujících krocích. Dávkovačem (obr. 4.1), umístěným obvykle na nákladním automobilu, se rozprostře po zlepšované zemině předepsané množství pojiva. Předepsané množství vychází z receptury, která je v předstihu stanovena laboratorně na odebraných vzorcích zeminy. V případě vápna postačí obvykle 1-2 % příměsi, v případě cementu 2-4 %. Pojivo se zeminou následně promíchá zemní fréza (obr. 4.2), která rovnoměrně zapracuje pojivo do zeminy. Zemní fréza má dosah promíchání obvykle mezi 0,25 – 0,5 m. Výsledná tloušťka zlepšené zeminy po ztuhnutí musí být dle [1] min. 0,30 m.



Obr. 4.1 DÁVKOVÁNÍ PŘÍMĚSI [23]



Obr. 4.2 ZEMNÍ FRÉZA [18]

Takto zhotovená vrstva se v rámci přijímacích zkoušek kontroluje statickou zatěžovací zkouškou. Jak již bylo zmíněno v kap. 3.6, je zásadní, aby na této vrstvě bylo naměřeno minimálně $E_{p,zlep}$ 40 MPa (při I_d min 0,9). Základní parametry zlepšené zeminy jsou předepsány Tab. 4.2. SŽDC S4. Tento předpis také stanovuje počáteční zkoušky, které musí být provedeny před samotnou realizací, a kontrolní zkoušky prováděné při samotné realizaci.

Kvalitativní ukazatel	Parametry zlepšené zeminy
tloušťka vrstvy po ztuhnutí	min. 0,30 m
Proctor Standard PS	min. 100 %
relativní ulehlost I_D	min. 0,9
modul přetvárnosti na vrstvě zlepšené zeminy $E_{p,zlep}$	min. 40 MPa
hodnota metylénové modři (při použití vápna)	0-6

Tab. 4.2 NÁVHROVÉ PARAMETRY ZEMIN ZLEPŠENÝCH POJIVEM [1]

Označení jednotlivých druhů zlepšení zemin :

Pojivo / příměs	Druh zlepšené zeminy	Označení zlepšené zeminy
cement	cementová	ZZC
vápno	vápenná	ZZV
vápno s cementem	vápenno - cementová	ZZVC
popílek	---	ZZP
struska	---	ZZS
chemický stabilizátor	chemická	ZZCh
odprašky	---	ZZO
zeminy s vhodnějšími geotechnickými vlastnostmi	mechanická	ZZM

Tab. 4.3 OZNAČENÍ ZLEPŠENÝCH ZEMIN [1]

4.3 STABILIZACE ZEMIN

Stabilizaci nevyhovující zeminy provedeme promísením s pojivem nebo chemickým stabilizátorem. Ten zvolíme podle požadavků na únosnost, odolnost proti mrazu a vodě (teploty zmrazování a počtu zmrazovacích cyklů).

Stabilizovaná vrstva se předem připraví promísením v míchacím centru, nebo výjimečně přímo na místě. Výhodou zhotovení v centru je podstatně lepší promísení a hlavně přesné dávkování. Následně se dopraví na stavbu, kde se rozprostírá za pomoci finišeru nebo jinými prostředky. Zhotovenou stabilizaci musíme chránit před odpařováním vody po dobu jejího zrání a to kropením nebo přikrytí pod fólii. Předpis S4 definuje požadované zkoušky pro stabilizaci, které jsou opět rozděleny na počáteční (např. pevnost v prostém tlaku) prováděné před zahájením prací, kontrolní (ověřování shody vlastností stabilizace s průkazními zkouškami) a přijímací zkoušky (např. rovinatost, dodržení tloušťky, pevnost v tlaku). Při přijímací zkoušce je opět nutné prokázat statickou zatěžovací zkouškou minimální modul přetvárnosti na stabilizaci vyšší jak $E_{p,stab}$ 60 MPa.

Kvalitativní ukazatel	Parametry stabilizace
tloušťka vrstvy po zhutnění	min. 0,25 m
Proctor Standard PS	min. 100 %
relativní ulehlost I_D	min. 0,9
modul přetvárnosti na vrstvě stabilizace $E_{p,stab}$	min. 60 MPa
hodnota metylénové modři	0-2

Tab. 4.4 NÁVRHOVÉ PARAMETRY STABILIZACE [1]

Pojivo/ Příměs	Druh stabilizace	Označení stabilizace
cement	cementová	SC
vápno	vápenná	SV
vápno s cementem	vápenno - cementová	SVC
popílkový stabilizát	---	SP
struska	---	SS
chemický stabilizátor	chemická	SCh
odprašky	---	SO
zeminy s vhodnějšími geotechnickými vlastnostmi	mechanická	SM

Tab. 4.5 OZNAČNÍ DRUHŮ STABILIZACÍ [1]

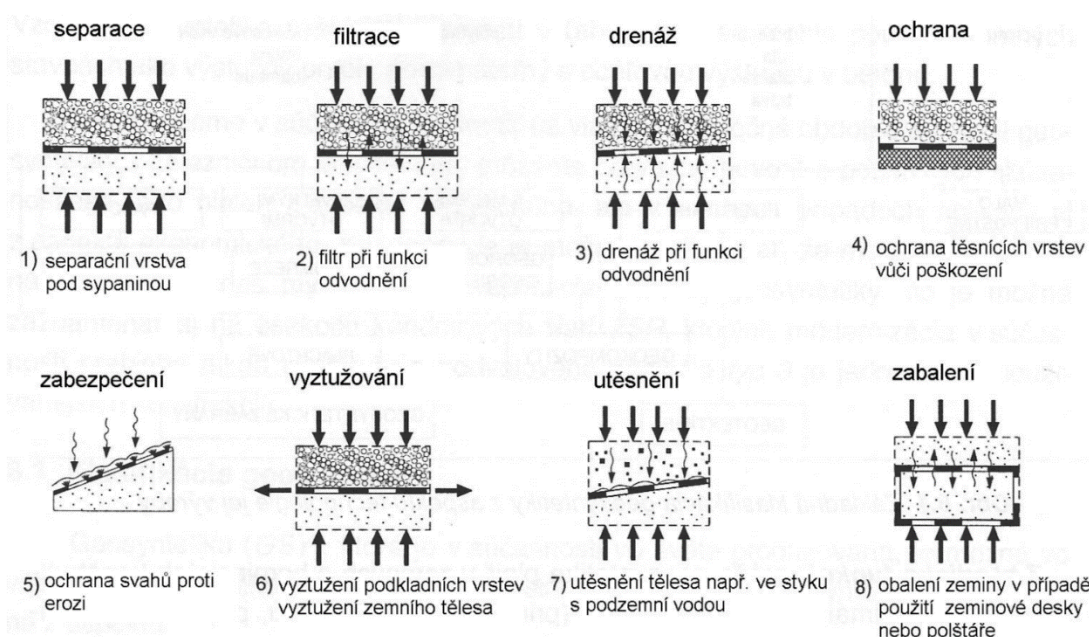
4.4 POUŽITELNOST ÚPRAV ZEMIN ZLEPŠENÍM A STABILIZACÍ

Upravená zemní pláň, ať už zlepšením pojivy nebo stabilizací, má však jedno zásadní omezení. Nemá schopnost přenášet významnější tahová napětí. V případě nerovnoměrného sedání zemin pod zlepšenou vrstvou by se tato nearmovaná zemní deska mohla rozpadnout na velké bloky – kry (podle pevnosti upravené vrstvy), což by následně vedlo k nefunkčnosti této vrstvy. Rozpad upravené vrstvy na kry nám hrozí i při působení vztlačových sil v případě, že takto upravená vrstva leží v dosahu podzemní vody.

5. GEOSYNTETICKÉ MATERIÁLY V TĚL. ŽEL. SPODKU

Jsou to ty materiály, které obsahují právě jednu nebo více částí vyrobených ze syntetických nebo přírodních polymerů. Tyto polymery mohou být zpracovány do různých podob, například v podobě jednoduchých fólií až po prostorové struktury. Podle způsobu aplikace (jejich funkce) rozlišujeme:

- Separáční (S) – oddělení dvou frakčně odlišných vrstev a zabránění jejich dalšímu volnému mísení (viz. Kap 5.1)
- Filtrační (F) – ochrana před vyplavováním jemných částic a umožnění volného prostupu vody
- Výztužná (R) – prvky s vysokou pevností v tahu (viz. Kap 5.4)
- Drenážní (D) – odvádí vodu, ať už podzemní či srážkovou, ve své rovině
- Protierozní (E) – většinou povrchová ochrana konstrukce před erozními vlivy
- Hydroizolační (B) – zabraňuje pronikání vody skrze tento prvek
- Ochranná (P) – ochraňuje jiné konstrukční prvky či geosyntetika před jejich poškozením



Obr. 5.1 FUNKCE GEOSYNTETIK [19]

5.1 GEOTEXTILIE (GTX)

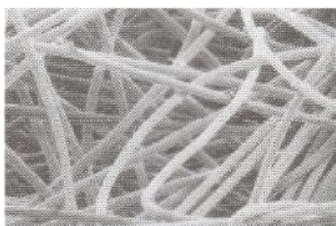
Jejich hlavní využití je separace jednotlivých vrstev, u kterých by bylo nežádoucí jejich volné mísení (Obr. 5.3). Typickým příkladem je znehodnocování hrubozrnných propustných frakcí jemnozrnnými částicemi. Pokud použijeme separační geotextilii, nemusí vrstvy, mezi kterými je geotextilie, splňovat filtrační kritérium. To znamená například separaci konstrukčních vrstev od zemní pláně nebo při zřizování drenážních vrstev či podélných trativodů.

Prostorovým uspořádáním odpovídají plošným textiliím vyrobených ze syntetických nebo přírodních materiálů. Funkce geotextilii:

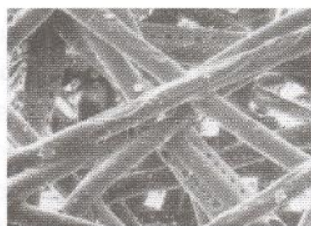
- Výztužná (R) (GTX-R)
- Separační (S) (GTX-S)
- Filtrační (F) (GTX-F)
- Ochranná (P) (GTX-P)

Podle technologie výroby se dělí na:

- **TKANÉ** – Soustava nití či pásků v podélném směru převázaných nejčastěji kolmo v příčném směru
- **NETKANÉ** – Obvykle náhodně orientovaná vlákna spojována vpichováním, prošitím nebo termickou úpravou
- **PLETENÉ** – Vznikají vzájemným propletením ok nití



Netkaná vpichovaná geotextília



Netkaná tepelne upravovaná geotextília



Tkaná geotextília z páskov



Tkaná geotextília z vlákien



Tkaná geotextília z páskov



Tkaná geotextília z monofilov

Obr. 5.2 ZÁKLADNÍ TYPY GEOTEXTILÍÍ [19]

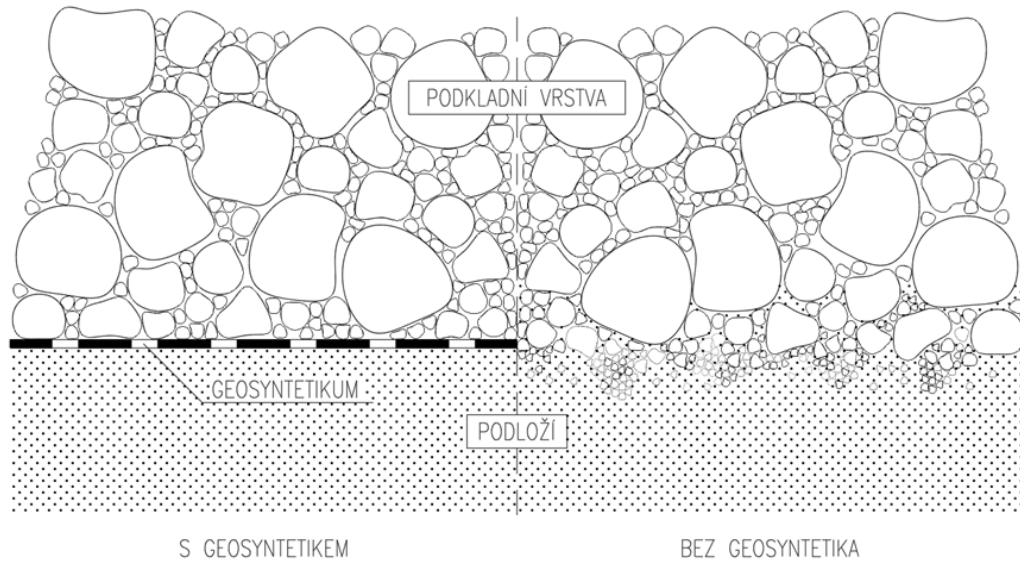
Geotextilie se klade na již vyspádanou, zhutněnou vrstvu. Tato podkladní vrstva musí být vždy propustná a nenamrzavá a řádně odvodněna. Aby separace fungovala správně, je nutné zvolit vhodnou geotextilii na vhodnou zeminu. Pravidlem je dle [1]:

$$d_{t,max} < d_{90}$$

kde:

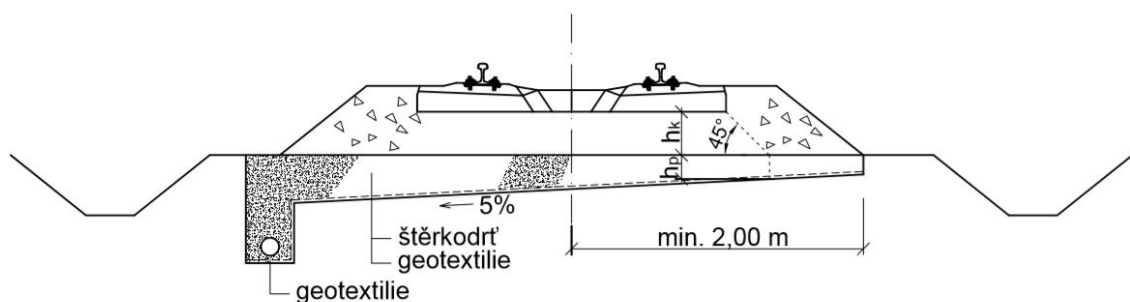
$d_{t,max}$ = maximální velikost pórů geotextilie v mm

d_{90} = průměr zrna zeminy při 90% propadu v mm



Obr. 5.3 SEPARACE VRSTEV

Možné použití v konstrukci pražcového podloží dle SŽDC S4:



Obr. 5.4 PŘÍČNÝ ŘEZ KONSTRUKCE S POUŽITOU GEOTEXTILÍ A ODVODNĚNÍM DO TRATIVODU [1]

5.2 GEOMEMBRÁNY (GBR)

Geosyntetické výrobky tvaru fólií, které jsou vodotěsné. V literatuře najdeme i pod označením geosyntetické izolace. Rozdělení dle typu izolačního prvku zajišťující nepropustnost:

- Polymerní (GBR-P)
- Asfalty (bitumeny) (GBR-B)
- Jíly (GBR-C)

Rozdělení dle způsobu výroby:

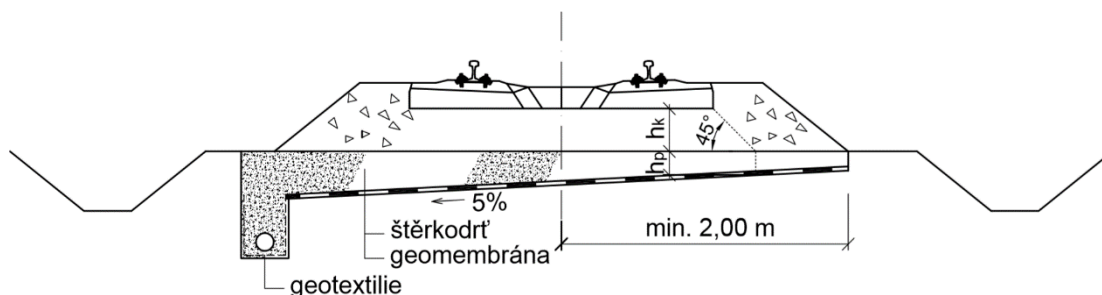
- Jednoduché – v standardních tloušťkách okolo 0,8 – 3,0 mm
- Vícevrstvé – např. hydroizolace chráněná z obou stran geotextilií
- Výztužné – GBR vyztuženy vlákny či tkaninami
- Se strukturním povrchem – upravený povrch pro zvýšení tření mezi konstrukční vrstvou a geomembránou

Rozdělení dle funkce geomembrán:

- Hydroizolační
- Separální
- Výztužná

V konstrukcích pražcového podloží plní nejčastěji funkci hydroizolační. Zamezuje prosakování srážkových vod do pláně tělesa železničního spodku a tím následnému snižování únosnosti, objemovým změnám (vlivem bobtnání, vysychání) a ostatním problémům spojených s kontaktem voda zemina.

Opět platí jako u geotextilie, že vrstva, na kterou pokládáme geomembránu, musí být řádně odvodněna příčným sklonem, zbavena nerovností a řádně zhutněna.



Obr. 5.5 PŘÍČNÝ ŘEZ KONSTRUKCE S POUŽITOU GEOMEMBRÁNOU A ODVODNĚNÍM DO TRATIVODU [1]

5.3 GEOKOMPOZITY (GCO)

Syntetické či přírodní materiály, jejichž konstrukční část tvoří minimálně 2 geosyntetické prvky. Kombinací různých geosyntetických prvků získáme geokompozit s funkcemi, které potřebujeme. Na Obr. 5.6 jsou nejčastější kombinace pro geokompozity. Pro snadnější orientování ve zkratkách na obrázku:

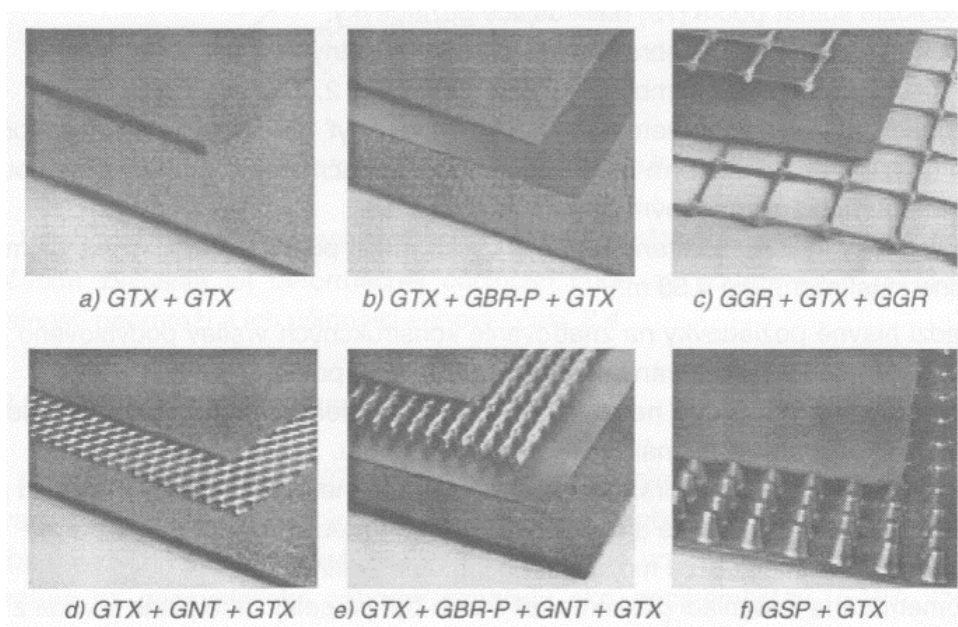
GTX – geotextilie

GNT – geosít (ohebná "netuhá" geomřížka)

GSP – georozpěrka

GBR – geomembrána

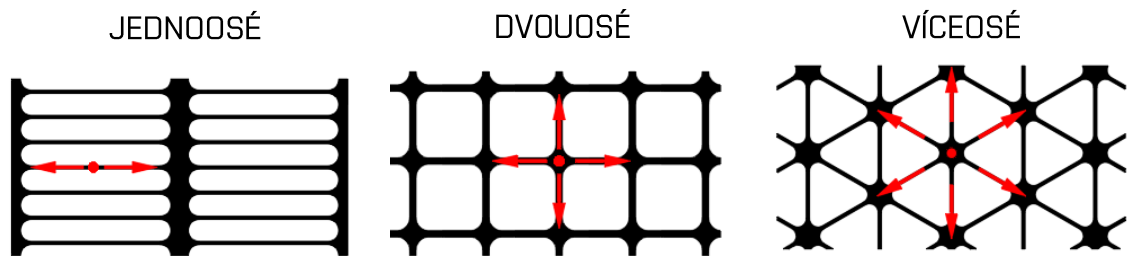
GGR – geomřížka



Obr. 5.6 NEJČASTĚJŠÍ KOMBINACE PRO GEOKOMPOZITY [19]

5.4 GEOMŘÍŽKY (GGR)

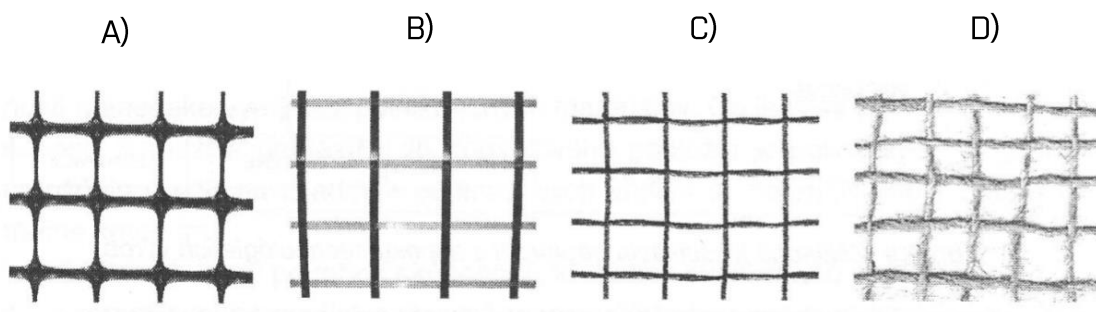
Z hlediska prostorového uspořádání jsou to plošné geosyntetické prvky. Jejich hlavní funkcí je přenášet tahové síly (funkce výztužná). Podle uspořádání tahových prvků je dělíme na:



Obr. 5.7 DĚLENÍ DLE USPOŘÁDNÍ TAHOVÝCH PRVKŮ

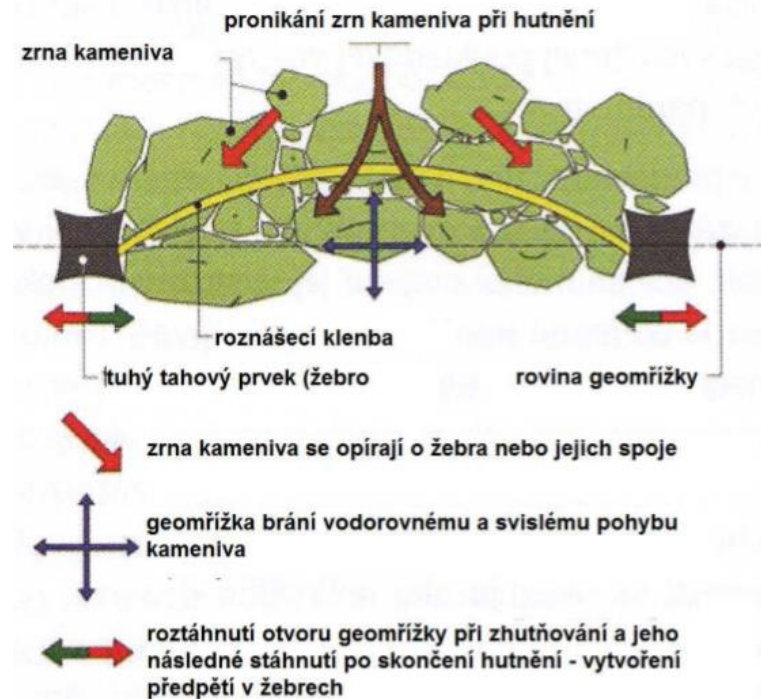
Dalším důležitým dělením je podle tuhosti geomřížek. Způsob výroby a zvolený materiál nám vytváří různě tuhé prvky s různou vhodností použití.

- A) Tuhá integrální - Výroba prolisováním otvorů do velkých plátů, následně se takto vzniklá geomříž nahřeje a předepne
- B) Tuhá spojovaná - Jednotlivé pásy se v rozponu rozmístí, tepelně či chemicky spojí, nahřejí a předepnou
- C) Ohebná spojovaná - Volně přes sebe položená vlákna se tepelně či chemicky spojí
- D) Ohebná tkaná/pletená - Vzniká vzájemným propletením volných vláken



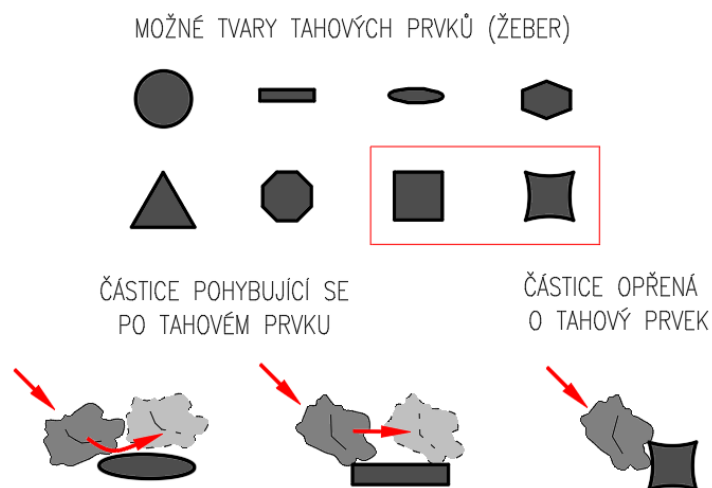
Obr. 5.8 DĚLENÍ DLE TUHOSTI GEOMŘÍŽKY [19]

Důležité je také řešit tuhost a tvar žebíř. Správně zhotovená konstrukční vrstva s geomřížkou funguje na principu zaklínění. Vhodně zvolená frakce kameniva položená na geomřížku se působením vnějšího zatížení začíná od dopravy zhutňovat, tím se částice kameniva do sebe zaklíňují a zapracovávají mezi jednotlivá oka geomřížky. Dochází tak ke vzniku tzv. klenbového efektu (obr. 5.9).



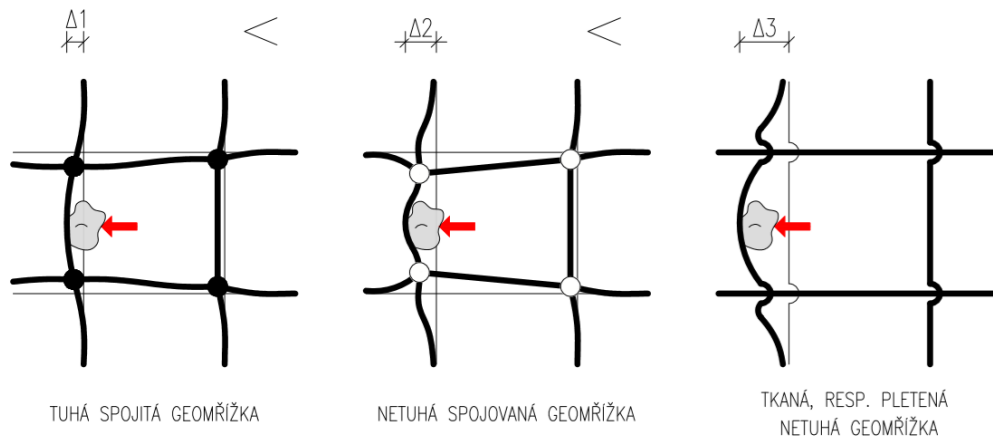
Obr. 5.9 VZNIK KLENBOVÉHO EFEKTU [19]

Kdyby byla žebra kruhového nebo oblého profilu, nemusela by se zrna do nich zaklíňit. Naopak tvary čtvercové nebo obdélníkové s ostrými hranami mohou napomoci k zaklížení (obr. 5.10).



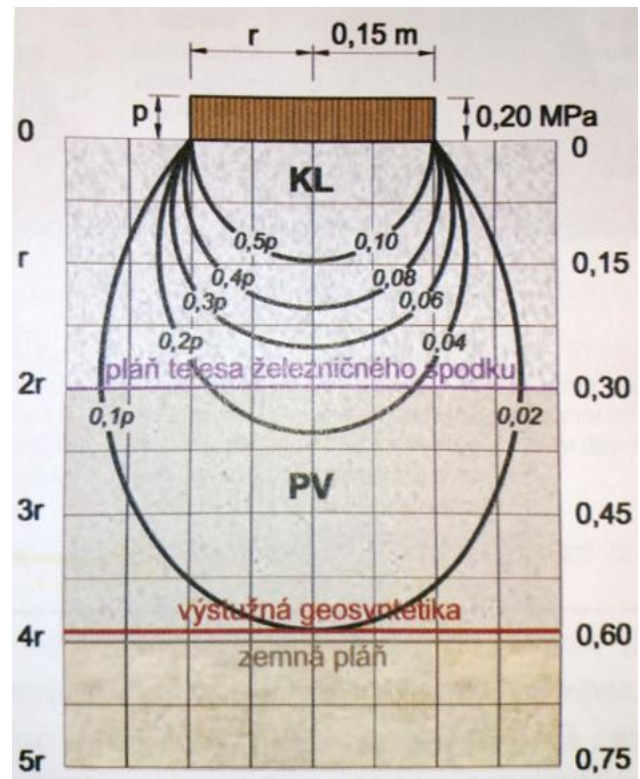
Obr. 5.10 TVARY TAHOVÝCH PRVKŮ

Pokud jsou tedy částice rozepřeny o žebra, musí mít tyto žebra dostatečnou tuhost, která zajistí tvarovou stabilitu oka geomřížky.



Obr. 5.11 VLIV TUHOSTI GEOMŘÍŽKY NA STABILITU OKA PŘI ZATÍŽENÍ

Máme připravenou ztuhněnou konstrukční vrstvu s geomřížkou. Na takto zřízenou vrstvu přijde další konstrukční vrstva. S rostoucí výškou, po které se zatížení od dopravy může roznášet, se i napětí v zemině vyvolané zatížením postupně ztrácí až do určité hloubky, kde je již zanedbatelné. Průběh napětí v zemině, za předpokladu homogenního spojitého prostředí, pod kruhovou deskou je znázorněno na obr. 5.12.



Obr. 5.12 DISTRIBUCE NAPĚTÍ V ZEMINĚ [19]

Kruhová deska je umístěna ve výšce pražců. Je zde zajímavé sledovat, že v hloubce 0,60 m, kde je uložena geomřížka, je jen 10 % z původního napětí působícího přímo pod pražcem. Je tak otázkou, jestli je geomřížka v této hloubce vůbec efektivní. Výše popsaný efekt zaklínění u geomřížky se postupně s rostoucí hloubkou uložení výztužného prvku ztrácí vlivem klesajícího napětí v zemině. Nejefektivnější by tedy bylo uložit výztužný prvek přímo pod pražcem, kde je napětí největší stejně tak jako potřeba roznášet zatížení. Ovšem to není možné

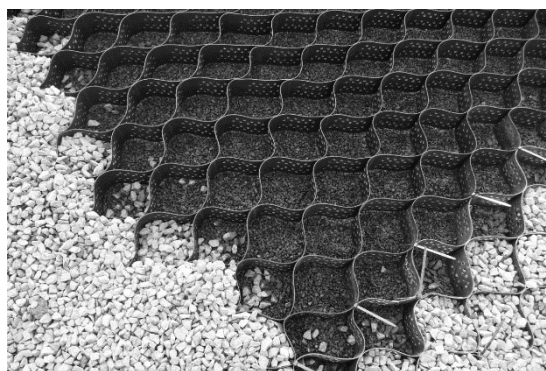
provést technologicky, vzhledem k nutnosti podbíjení kolejového roštu. Geomřížku bychom jednoduše rozbili klady podbíječky.

5.5 GEOBUŇKY (GCE)

Jsou to trojrozměrné geosyntetické prvky. Vyrábí se tepelným nebo ultrazvukovým svařováním dlouhých pásů, obvykle z HDPE, do tvarů „včelích pláství“. Tyto otvory (buňky) se po rozbalení na finálním místě vyplní vhodným materiálem (např. pískem nebo štěrkem). Samotné stěny geobuňek mohou být perforované z důvodu umožnění průtoku vody.



Obr. 5.13 ROZLOŽENÉ GEOBUŇKY



Obr. 5.14 ZAPLNĚNÍ JEDNOTLIVÝCH BUNĚK MATERIÁLEM [24]

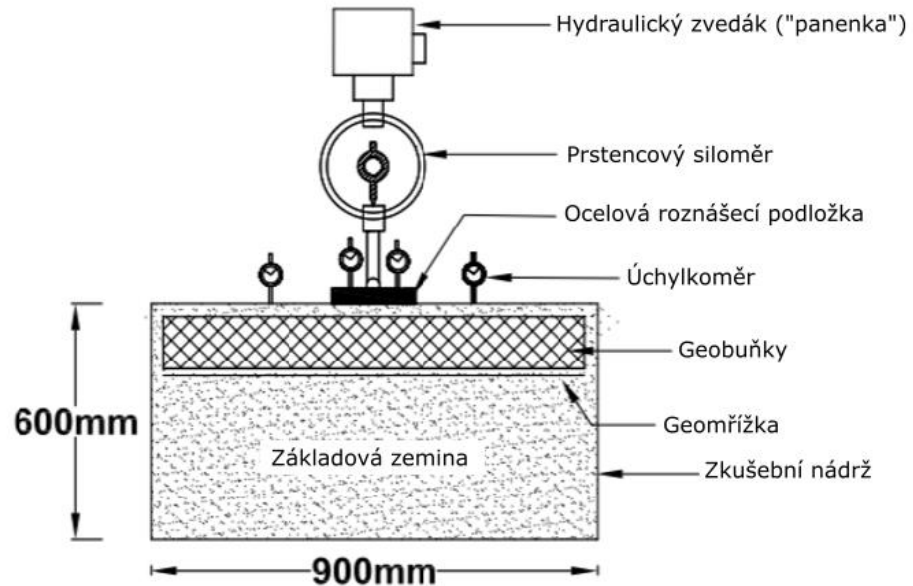
Geobuňky lze využít k ochraně svahů proti erozi, jako konsolidační polštář v úrovni pat náspů. Převážně však jako roznášecí prvek tam, kde máme malou únosnost podkladu.

5.6 EXPERIMENTY S VYZTUŽENÝMI ZEMINAMI (GGR A GCE)

Pro lepší pochopení rozsáhlé problematiky vyztužování zemin pomocí geomřížek a geobuňek bylo nutné provést řadu experimentálních studií. Jednou z takových studií je práce autorů [2] zabývající se použitím geobuňek na pískovém loži. Jejich sestava pro experiment je zobrazena na Obr. 5.15.

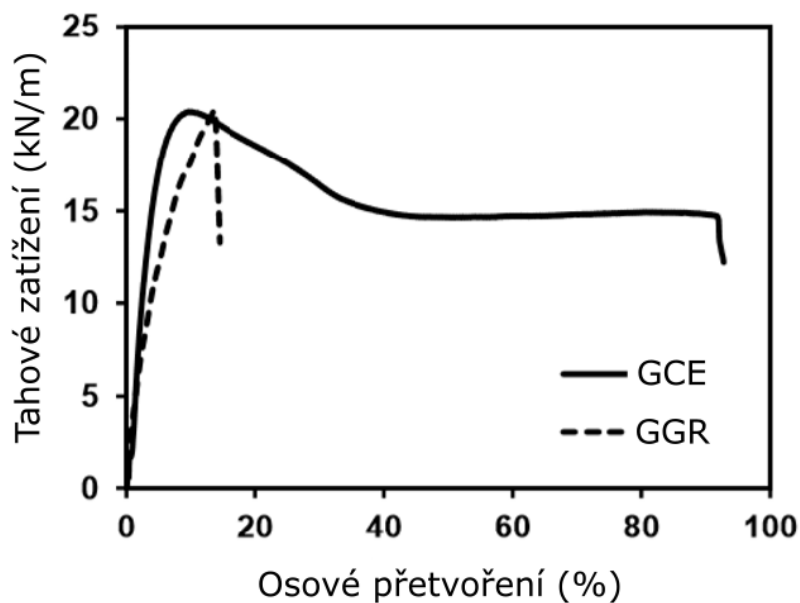
Základem byla litinová nádoba o půdorysných rozměrech 900x900 mm a výšce 600 mm vyplněná pískem tl. 500 mm o objemové tíze $\gamma = 16,08 \text{ kN/m}^3$, s úhlem vnitřního tření $\varphi = 30^\circ$, číslem pórovitosti $e_{\max} = 0,81$, $e_{\min} = 0,51$ a relativní ulehlostí po uložení $I(\sigma) = 65 \%$. Byly použity polyethylenové geobuňky s hustotou $0,95 \text{ g/cm}^3$ s výškou buňky 150 mm, šířkou buňky 210 mm, délkou buňky 250 mm a s tloušťkou stěny 1,53 mm. Pro vyplnění geobuňek bylo použito stejného písečitého materiálu jako je zmíněno výše. Pevnost spoje mezi jednotlivými buňkami byla 2150 N. Dále bylo použito dvouosé tuhé geomřížky se šířkou oka 35x35 mm s mezní tahovou pevností

20 kN/m. Čtvercová roznášecí podložka, o šířce (B) 150 mm a tloušťce 20 mm, byla uložena v půdorysném středu litinové nádoby.



Obr. 5.15 SESTAVA PRO PROVÁDĚNÝ EXPERIMENT [2]

Porovnání průběhů pevností v tahu geomřížky (GGR) a geobuňky (GCE) pro experiment:



Obr. 5.16 TAHOVÉ PEVNOSTI GGR X GCE [2]

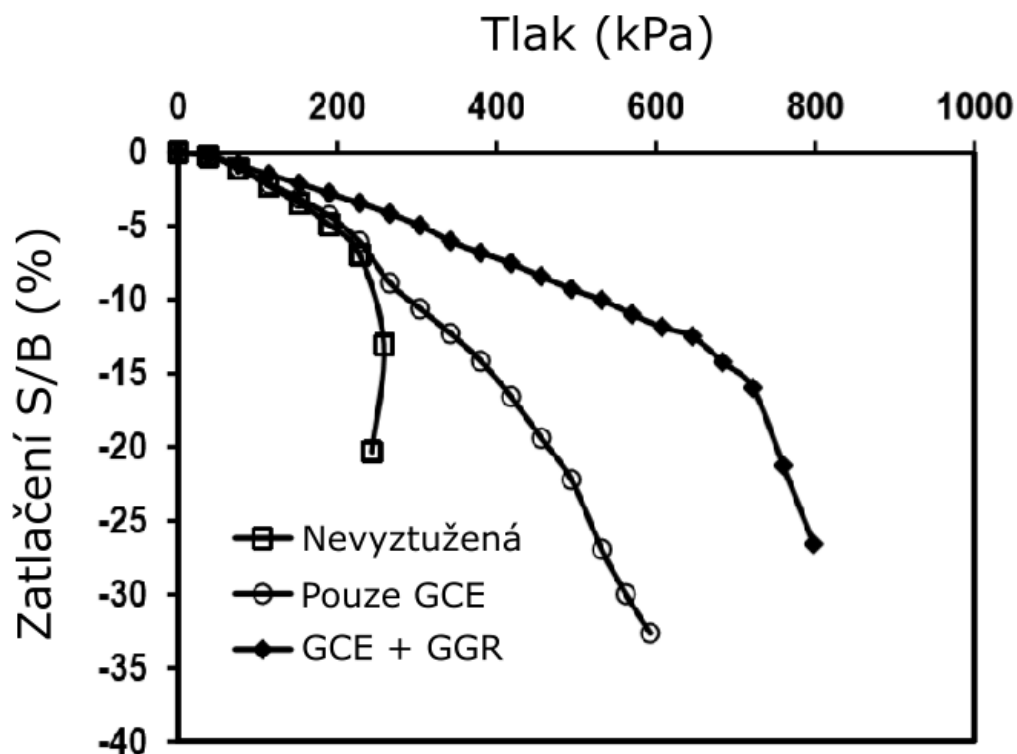
Zatížení bylo vyvozeno ručním hydraulickým zvedákem, které přes ocelovou roznášecí podložku zatěžovalo sestavu. Síly byly měřeny pomocí prstencového siloměru a posuny úchylkoměry na roznášecí podložce a na povrchu geobuňek.

Zkouška byla provedena pro variantu s nevyztuženou zeminu, vyztuženou pouze geobuňkami a vyztuženou geobuňkami spolu s geomřížkou (uložení geomřížky obr. 5.15). Výsledné zatlačení roznášecí podložky (S) bylo pro obraznost převedeno na bezrozměrnou veličinu, tzn. bylo vztaženo na šířku roznášecí podložky (S/B) v %.

Pro nevyztuženou zeminu autoři uvádějí kolaps již při hodnotě odpovídající 8 % šířky podložky (B).

Při vyztužení zeminy geobuňkami již ale není možné přesně definovat bod porušení a to ani při hodnotě 35 % (B). Vysoká ohybová tuhost a smyková pevnost geobuňek dokáže udržet roznášecí podložku se zatížením, i přestože zemina již vyčerpala svoji únosnost. Jednotlivé vyplněné buňky spojené do jedné velké matrace tak mají schopnost roznášet zatížení na větší plochu podkladu.

Posledním a také velmi zajímavým experimentem bylo vyztužení zeminy geobuňkami i s podkladní vrstvou z geomřížky. Výsledky ukázaly další, poměrně velký nárůst únosnosti.



Obr. 5.17 ZATÍŽENÍ V ZÁVISLOTI NA ZATLAČENÍ PODLOŽKY [2]

5.7 SHRNUÍ PŘEDCHOZÍCH METOD SANACÍ

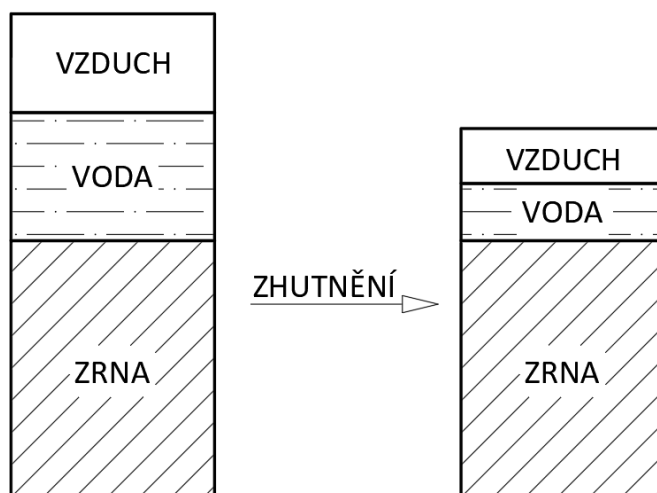
Výše uvedená sanační opatření, úprava zemin a vyztužení pomocí geosyntetických materiálů, nelze použít ve všech případech. V určitých případech se specifickými problémy je nutné použít speciálních postupů, například hloubkové zlepšování zemin.

6. HLOUBKOVÉ ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN

Když je výměna nevhodných zemin žel. tělesa v celém objemu neekonomická, je jednou z dalších možných úprav fyzikálně-mechanických vlastností zemin některá z technik hloubkového zlepšování přímo na místě. Při tomto způsobu provádění sanací je nutné brát v úvahu možná rizika spojená s prováděním těchto opatření. Technologie použité pro dosažení našeho záměru mohou nepříznivě ovlivňovat, zejména během provádění, okolní objekty. A to například v podobě zvýšeného sedání vlivem vibrací při provádění prací či možné kontaminace spodních vod při použití chemických poživ. Dále uvádím nejpoužívanější způsoby hloubkového zlepšování v podmínkách železničních tratí v ČR.

6.1 VIBRAČNÍ ZHUTŇOVÁNÍ

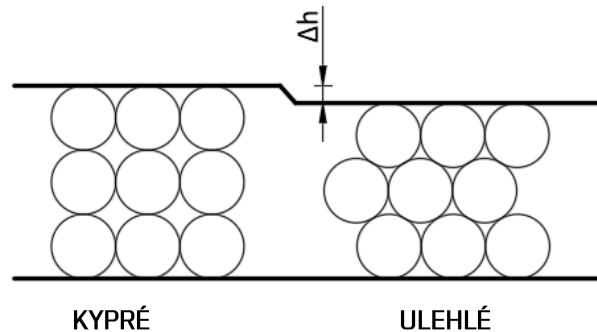
Mezi základní typ hloubkového zlepšování patří vibrační zhutnění. Zemina je obecně složená ze 3 fází (obr. 6.1) – zrn (pevná část), vody (kapaliny) a vzduchu (plynu).



Obr. 6.1 FÁZE ZEMINY

Zjednodušeně při zhutňování zemin dochází k přeskupení jednotlivých zrn a tedy ke změně pórovitosti. Schématické uspořádání těchto 2 krajních stavů je zobrazeno na obr. 6.2. Tím, jak se zrna snaží tlakem od vnějšího zatížení vtlačit do pórů, dochází k postupnému vytěsňování vody a vzduchu. Vtlačování zrn brání tření mezi nimi a odpor, který klade voda. Tento odpor vzniká u zemin málo propustných, kdy voda není schopna snadno a rychle odtéci a proces konsolidace je tedy časově náročný. U zemin propustných vnikání zrn brání pouze tření mezi zrny, tedy i konsolidace,

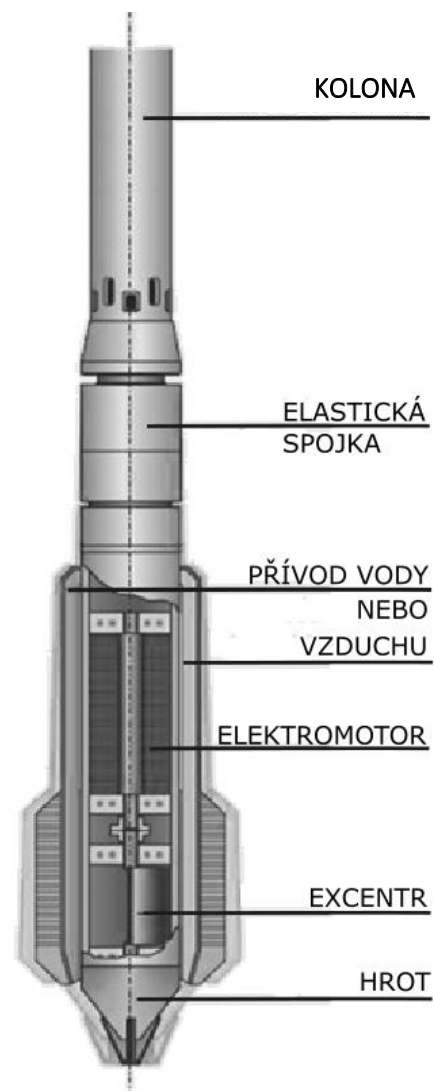
oproti zeminám nepropustným, trvá relativně kratší dobu. Z těchto důvodů je technologie vibračního zhutňování vhodná převážně pro nesoudržné (hrubozrnné) zeminy. Vytěsníme-li vodu i vzduch z celkového objemu zeminy, dojde k nárůstu objemové hmotnosti, zvýšení smykové pevnosti, deformační odolnosti zeminy a zmenšení sedání.



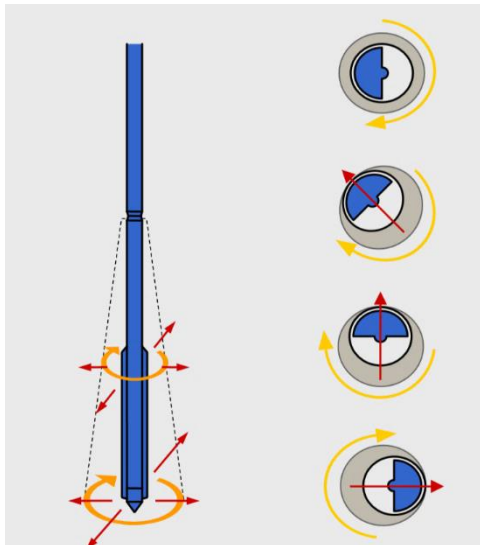
Obr. 6.2 USPOŘÁDÁNÍ ZRN NESOUDRŽNÝCH ZEMIN

Samotná technologie vibračního zhutňování spočívá v použití ponorných vibrátorů (obr. 6.3), které mohou být zavěšeny na jeřábech nebo jiných stavebních strojích. Při potřebě většího přítlaku může být celá kolona vedena pomocí strojů s lafetou.

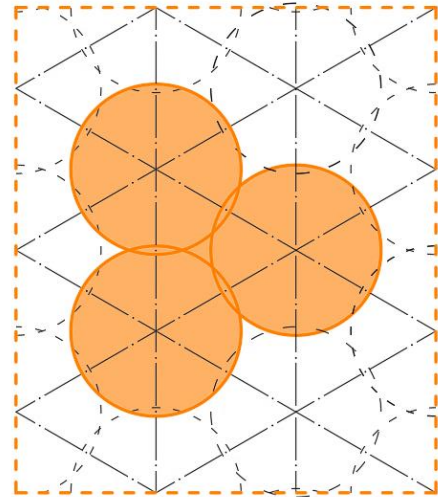
Samotné vibrace v ponorném vibrátoru vytváří elektromotor s nasazeným excentrem. Při otáčení takto nevyvážené hřídele (excentru) vznikají odstředivými účinky silová zatížení (obr. 6.4), která se přenášejí v podobě vibrací do okolí. Tyto dynamické účinky zhutňují zeminu. Existují výkonově různé typy vibrátorů s různými dosahy zhutnění. Pro provádění se obvykle volí rovnostranný trojúhelníkový rastr s délkou strany 1,5 m – 2,5 m (obr. 6.5).



Obr. 6.3 VIBRÁTOR S HORNÍM PLNĚNÍM [3]



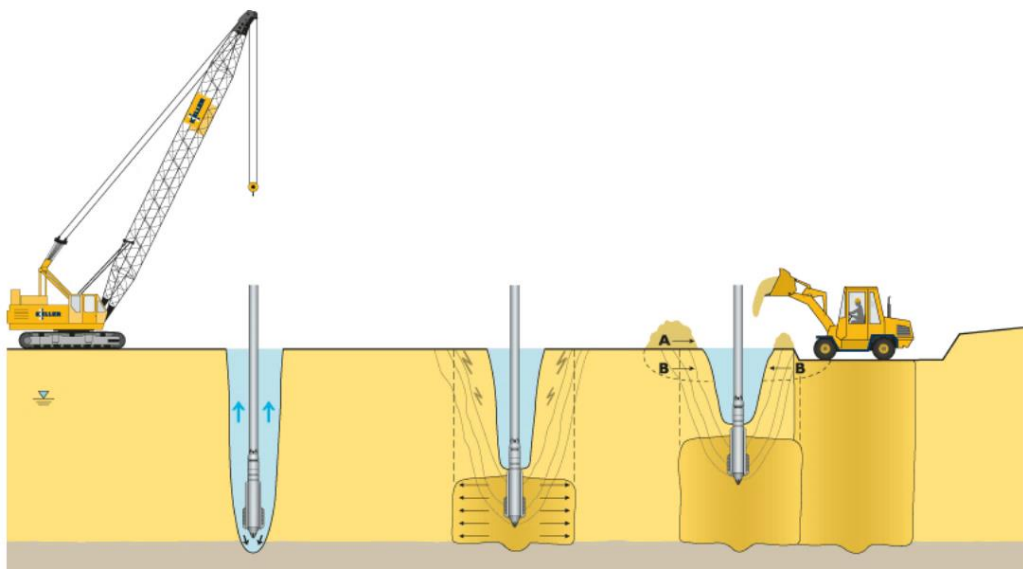
Obr. 6.4 SÍLY OD EXCENTRU [21]



Obr. 6.5 TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR

Osazený vibrátor na vrtné koloně se zapouští (vpichuje) do podloží za použití přítlaku a vibrací až na konečnou hloubku. Pro usnadnění zapouštění se může použít vzduchového nebo vodního výplachu. Tato technologie je tedy omezena pouze na zeminy kypře nebo středně uhlé. Realizace na zeminách ulehlejších, nad index ulehlosti 0,7, je již velmi těžce proveditelná.

Po dosažení konečné hloubky se kolona povytahuje zpět na povrch a vibracemi, již bez či se sníženým výplachem, se provádí hutnění. Na povrchu při zhutňování vzniká sesednutím prohlubeň, která se dosypává nejlépe obdobným materiálem, jako je materiál zlepšované vrstvy. Objem dosypaného materiálu bývá obvykle kolem 10 % z celkového objemu zhutňované zeminy.



Obr. 6.6 PROVÁDĚNÍ VIBRAČNÍHO ZHUTŇOVÁNÍ [20]

K posouzení kvality provedení lze například použít dynamickou penetrační zkoušku (DPM, DPH). Provedeme-li penetraci před a po zhutnění zeminy, máme možnost zkontrolovat provedené zlepšení, popřípadě málo zhutněné pasáže znovu dohutnit. Dalšími informacemi o kvalitě díla jsou data z provádění jednotlivých vpichů. Každý tento „rodný list“ vpichu sleduje dobu provádění, hloubku i spotřebovanou energii elektromotoru ve vibrátoru.

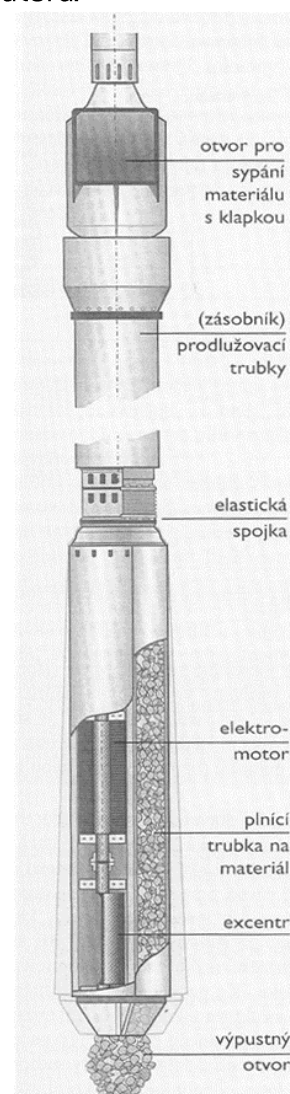
Technologie vibračního zhutňování je tedy poměrně rychlá a levná metoda s potřebou krátkého časového náskoku před ostatními stavebními pracemi. Vhodná na hrubozrnné zeminy (štěrky a písky). Po dokončení jsou takto zlepšené zeminy okamžitě použitelné a není potřeba následných technologických pauz. Lze použít převážně v nezastavěných oblastech z důvodu ohrožení statiky okolních objektů od sedání vlivem vibrací, přenášejících se do širšího okolí od vibrátoru.

6.2 VIBRAČNÍ VPĚCHOVÁNÍ

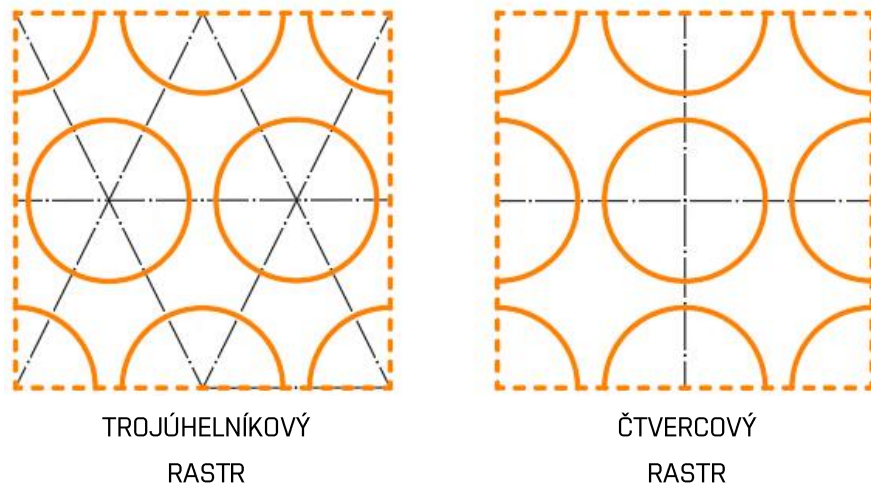
Oproti vibračnímu zhutňování na hrubozrnných nesoudržných zeminách je vibrační vpěchování zaměřeno na jemnozrnné soudržné zeminy. Pokud si představíme jemnozrnnou soudržnou zeminu, a třeba i pod hladinou podzemní vody, vytlačení samotné vody i vzduchu ze zeminy je mnohem náročnější než u nesoudržných hrubozrnných zemin a zhutnění bychom nemuseli vůbec dosáhnout.

Technologie vibračního vpěchování se proto primárně nesnaží zhutnit okolí, ale vytváří materiálově nový, mnohem únosnější zavibrovaný sloup (pilíř). Tento sloup je budován z kvalitního drceného nebo těžného kameniva s podstatně větší tuhostí a smykovou pevností, než má okolní zemina. Rastr budovaných pilířů může být volen čtvercový nebo trojúhelníkový (obr. 6.8)

Princip metody vychází opět z použití ponorného vibrátoru (obr. 6.7), který je buď zavěšen nebo kvůli přesnějšímu vedení nasazen se soupravě s lafetou. Vibrátor se zapnutými vibracemi a přitlakem od soupravy je zapouštěn do požadované hloubky. Mezitím je naplněn nakladači zásobník na soupravě, který následně naplní

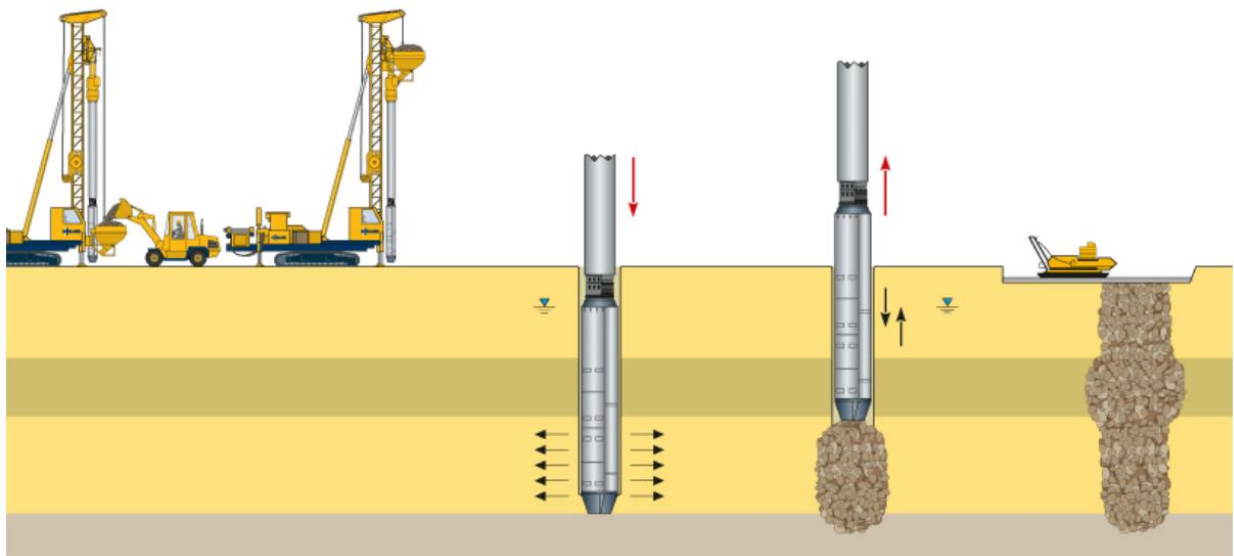


Obr. 6.7 VIBRÁTOR S DOLNÍM PLNĚNÍM [3]



Obr. 6.8 RASTRY PRO PROVÁDĚNÍ

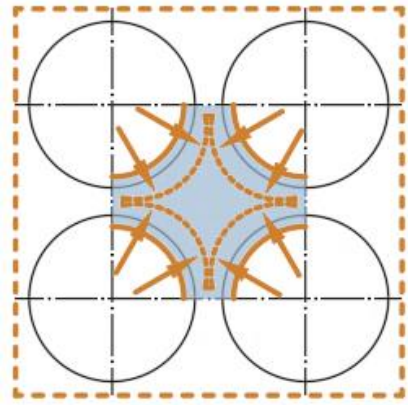
mezikruží soutyčí. Po dosažení konečné hloubky se soutyčí povytáhne, tím se uvolní klapka ve vibrátoru fungující jako zpětný ventil a s pomocí tlakového vzduchu se vhání materiál přímo na hrot vibrátoru. Následuje zhutnění materiálu vibracemi a přitlakem. Tento postup se opakuje až do konečné výšky sloupu.



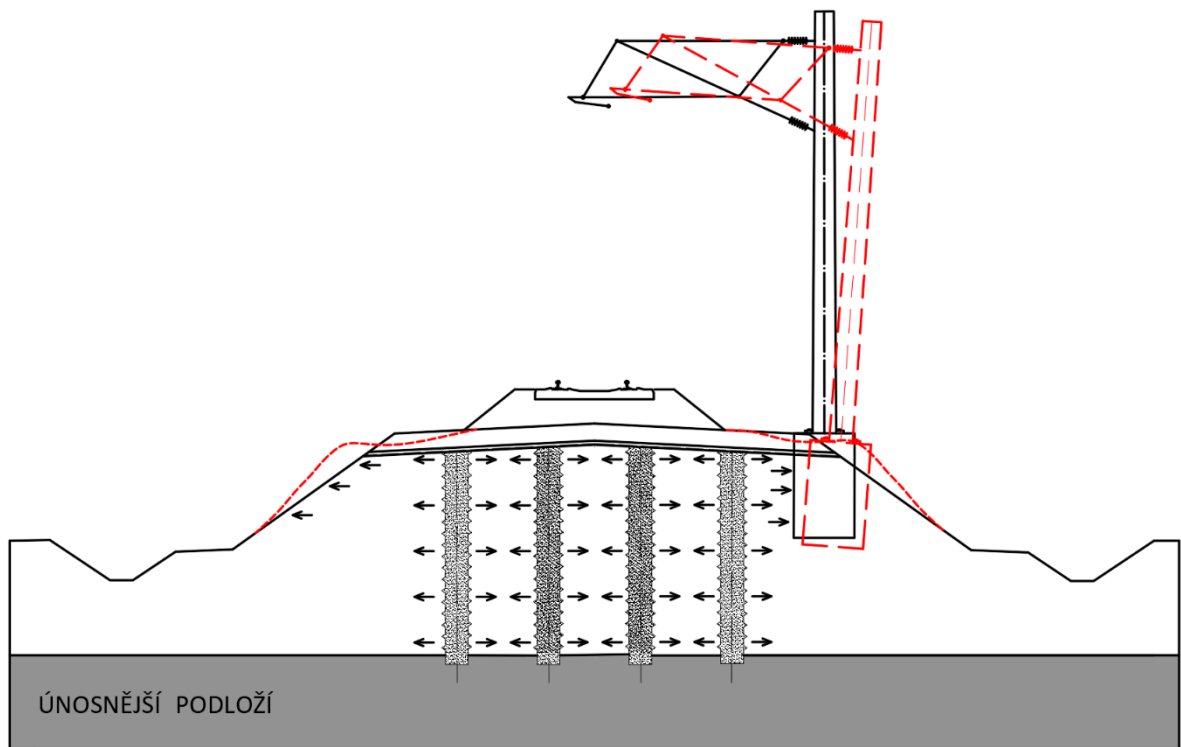
Obr. 6.9 PROVÁDĚNÍ VIBRAČNÍHO VPĚCHOVÁNÍ [20]

Při hutnění vrstvy přisýpaného materiálu na čelbě vibrátoru dochází k roztlačení materiálu do stran v závislosti na vlastnostech okolní zeminy (obr. 6.9 a 6.10). Stlačením okolní zemina prochází zhutněním, kdy se vytlačuje opět vzduch s vodou, které mohou být svedeny do propustnějšího materiálu sloupu. Jsou-li zeminy málo propustné, vtlačení materiálu pilíře se kvůli pomalému odvádění vody a vzduchu

zvyšují pórové tlaky v okolní zemině. Je-li nárůst těchto pórových tlaků příliš velký, hrozí, například na náspech, vyboulení málo zatížených okrajů (obr. 6.11). Tento efekt můžeme snížit předvrtáním na plný profil v ose budoucího sloupu. Výhodou předvrtání je i snadnější zapouštění vibrátoru do požadované hloubky v prvních krocích provádění.



Obr. 6.10 STLAČENÍ MEZILEHLÉ ZEMINY



Obr. 6.11 PORUŠENÍ NÁSPU

Pro ověření kvality provádění můžeme opět použít dynamické penetrační zkoušky, zatěžovací zkoušky, geofyzikální metody a záznamy sestávající se z dat z provádění každého sloupu.

6.3 HLOUBKOVÉ ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN METODOU DEEP SOIL MIXING

Jedná se o další z technologií, kdy se hloubkově promíchává původní zemina s dodávanou stabilizující složkou. Používáme technologii suchého nebo mokrého procesu. Při mokrému procesu je přidanou složkou cementová suspenze, kterou připravujeme v mísícím centru. V suchém procesu použijeme například popílek či vápno. Velmi důležitá je samotná příprava, kdy se pro konkrétní zeminy, ve kterých se deep soil mixing (dále jako DSM) bude provádět, připraví v laboratoři přesná receptura. Při navrhování receptury je nutné znát fyzikálně-mechanické vlastnosti samotné zeminy, požadované pevnosti i konkrétní vrtnou soupravu, která bude technologii provádět. Například pokud bude mít při mokrému procesu cementová suspenze velkou viskozitu a nebudeme mít odpovídající čerpadlo, kterou by směs začerpalo, suspenze bude nepoužitelná.

Podle požadavků, hloubek a průměrů DSM, volíme i samotnou vrtnou soupravu. U výkonných strojů můžeme dosáhnout promíchání až do hloubky přes 10 m. Jako míchací nástroj mohou být použity šneky, vrtule nebo jiné adaptéry s variabilním počtem současně běžících míchacích vrtných kolon.



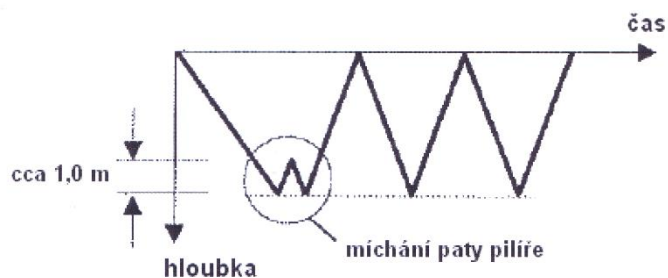
Obr. 6.13 HLAVA DSM PILÍŘE



Obr. 6.12 PRACOVNÍ NÁSTROJ PRO DSM

Samotný pracovní postup je následující. Vhodně zvolená vrtná technika zavrtává za rotace mísící nástroj až do projektované hloubky (obvykle na úroveň únosného podloží). Zavrtávání je často doprovázeno částečným začerpáním suspenze, která zlepšuje průchodnost nástroje zeminou. To, že jsme zavrtali již do únosné vrstvy se projeví například registrovaným zvýšením přítlaku na vrtný nástroj a nárůstu

kroučícího momentu. Po dosažení únosného podloží se zahájí plné začerpávání suspenze. Podle [3] je doporučeno zvednutí kolony o 1 m a znovu zapuštění kvůli zlepšení přechodové zóny mezi měkkou a únosnou vrstvou. Následně se kolona vytáhne až na povrch a znovu zapustí. Tento cyklus se opakuje až 3x a díky němu docílíme kvalitního promísení zeminy se stabilizující složkou.



Obr. 6.14 PRACOVNÍ POSTUP DSM [3]



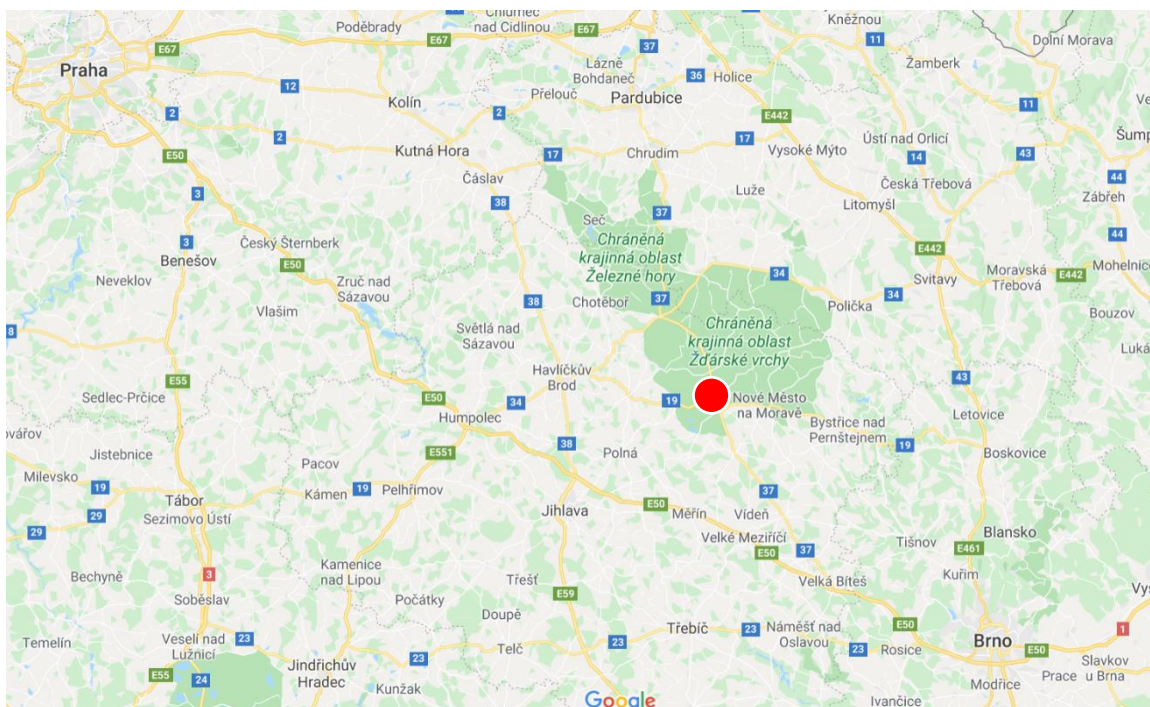
Obr. 6.15 SOUPRAVA BAUER BG 20 H PŘI SANACI NESTABILNÍHO NÁSPOVÉHO TĚLESA V ŽST. ŽDÁR N. SÁZAVOU

Průkaznými zkouškami kvality jsou jednotlivé záznamy z průběhu provádění jednotlivých pilířů. Dále to mohou být vrtná jádra odebraná z provedených pilířů, na kterých bude ověřena pevnost v prostém v tlaku, tj. zda odpovídá požadavkům.

7. POSOUZENÍ NÁVRHU SANACE NÁSPU ŽDÁR NAD SÁZAVOU

7.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY

Název stavby, díla:	Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou
Charakter stavby:	Liniová stavba, rekonstrukce
Odvětví:	Železniční doprava
Kategorie dráhy:	Celostátní dráha, P5/F2 dle TSI
Železniční síť:	Evropská síť tratí TEN-T
Místo stavby:	Trať č. 250 dle KJŘ, trať č. 700 dle prohlášení o dráze
Traťový úsek:	TUDU 2031K1, 203122
Kraj:	Vysočina
Katastrální území:	Město Žďár (795232)



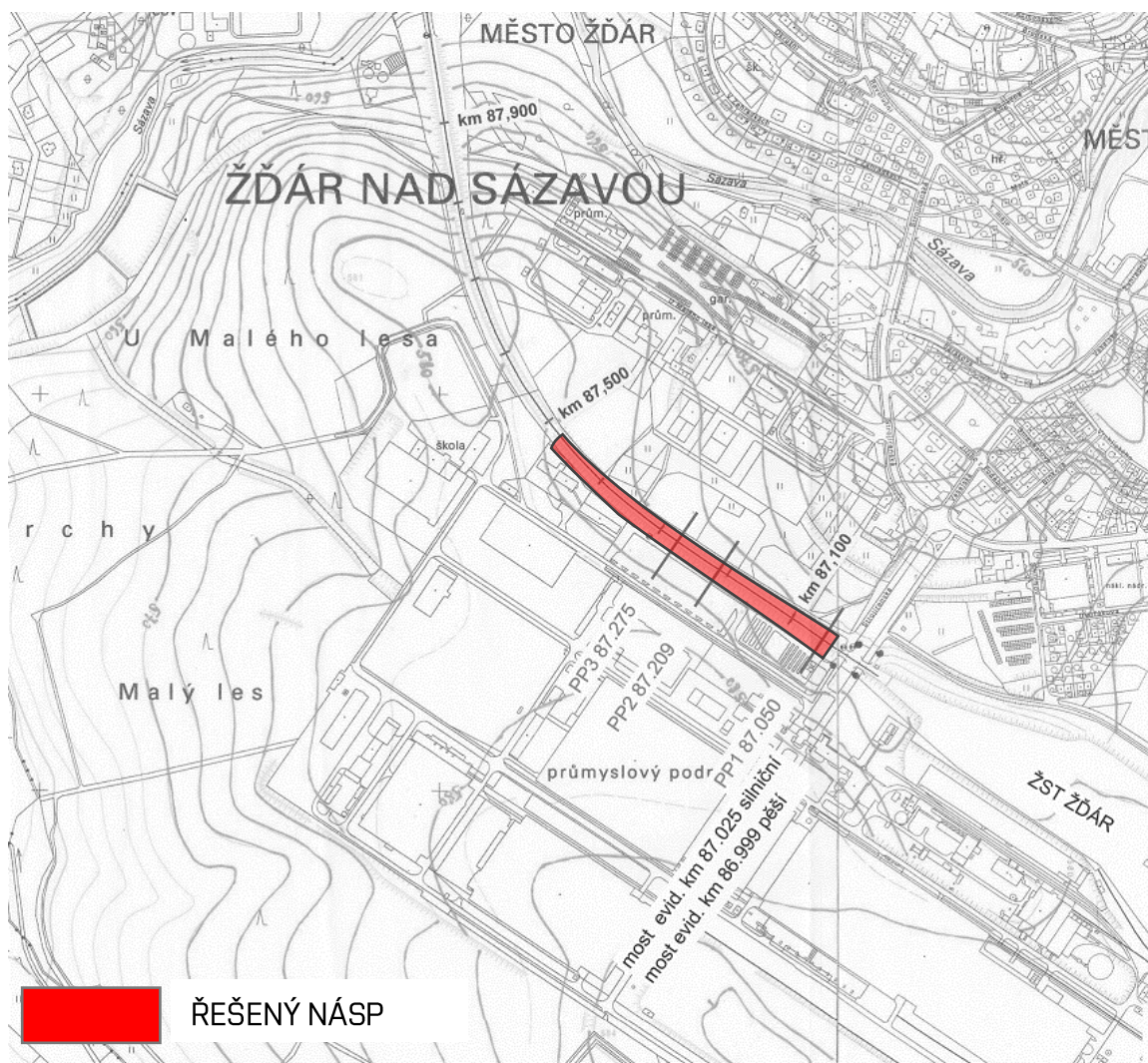
● zájmová oblast Žďár nad Sázavou

Obr. 7.1 POLOHA ZÁJMOVÉ OBLASTI [22]

7.2 GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY

Zájmová lokalita se podle [4] nachází v severním okraji podcelku Bítešské vrchoviny, patřící do celku Křižanovské vrchoviny. Ta je součástí podsoustavy Českomoravské vrchoviny, soustavy Česko-moravské. Bítešská vrchovina je silně a slabě zvlňená,

vrchovinná až pahorkatinná krajina. Hlavní toky sledují postupně se snižování Bítešské vrchoviny od SZ k JV. Přesněji se zájmová lokalita v Bítešské vrchovině nachází v severní značně ploché Veselské sníženině (okrasek) a je zároveň součástí CHKO Žďárské vrchy. Okolní terén zájmového úseku železniční tratě je tvarován řekou Sázavou, protékající severně od náspu. Železniční trať, v úseku km 86,988 po cca km 87,475 je budovaná na náspu z důvodu deprese terénu, postupně ve směru růstu staničení prochází morfologickou elevací terénu. V úseku cca km 87,475 – 87,800 trať již prochází zářezem. Geologická stavba zájmové oblasti je tvořena moravskou větví moldanubika. V zářezu vystupují na povrch magmatity, konkrétně granity. Podloží tělesa náspu je tvořeno metamorfovanými horninami moldanubika, které jsou do značné hloubky, vycházející z archivních vrtů [5], silně zvětralé. Toto eluvium má zde charakter jílu a prachovitého písku. Eluvia jsou překryta navážkami nebo kvartérními hlínami s proměnlivou mocností.



Obr. 7.2 VYZNAČENÍ ŘEŠENÉHO NÁSPU [9]

7.3 PRŮZKUM TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO NÁSPU

Součástí akce „Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou“ je sanace tělesa náspu v úseku km 87,030 – km 87,350. V předběžném průzkumu z roku 2017, byly v tomto úseku pozorovány deformace hran tělesa náspu a vyklánění sloupů trakčního vedení. Místně příslušným pracovníkem SŽ bylo upozorněno na opakující se rozpad GPK a časté nutnosti úsek podbíjet. V roce 2018 byl proveden podrobný geotechnický průzkum kvůli kompletní diagnostice tělesa náspu a určení stávajícího stupně stability. Proveden byl ve 3 příčných řezech se staničením km 87,050, km 87,209 a km 87,275. V jednotlivých řezech byly provedeny kombinace kopaných sond, dynamických penetračních zkoušek a jádrových vrtů.



Obr. 7.3 PŮVODNÍ STAV ÚSEKU PŘED SANACÍ

7.4 SANAČNÍ OPATŘENÍ

Vzhledem ke zjištěným nadměrným deformacím spojených s nedostatečně únosnými zeminami tělesa náspu, bylo přistoupeno k vybudování stabilizačních pilířů metodou DSM. Tyto pilíře zajišťují přenesení zatížení od železniční dopravy do únosného skalního podloží náspu. Zároveň s tímto sanačním opatřením bylo nutné také navrhnout roznášecí vrstvu, která je tvořena geobuňkami a doplněna výztužnými geomřížkami. Tato konstrukční vrstva s geosyntetickými materiály bude dále zajišťovat rovnoměrnou distribuci zatížení z kolejového roštu na jednotlivé hlavy DSM pilířů a zároveň brání tzv. „protlačení“ konstrukce pražcového podloží pilířem.

Na základě zjištění podrobného geotechnického průzkumu bylo konstatováno, že pro samotné zvýšení stability tělesa žel. náspu nebude vyhovovat pouhé hloubkové zlepšení zemin metodou DSM. Během předchozího provozování dopravní cesty byly prováděny různé zásahy, snažící se eliminovat deformace GPK formou čistění a doplňování kolejového lože včetně jeho následného podbíjení. Zároveň byly prováděny i neodborné zásahy, kdy byla například zemina vyzískaná z čistění kolejového lože přisypávána na boční svahy náspu, kde dlouhodobě zhoršovala jejich stabilitu.

V rámci průzkumných prací bylo vysledováno, že dochází k vyklánění sloupů trakčního vedení a zátrhům na náspu. Aby se projevila úplná účinnost navržené sanace, bylo nutno zajistit vhodným opatřením paty svahů s ohledem na situační polohu náspu v oblasti průmyslové a zahrádkářské zóny (omezení kvůli drážnímu pozemku). Proto bylo navrženo řešení, které vstoupilo do návrhu sanace jako doplňující opatření v podobě vybudování gabionových zdí na obou stranách náspu a upravení geometrie hran svahů.

7.5 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU

S ohledem na zvolené množství sanačních opatření byla úloha modelována pomocí metody konečných prvků v programu Plaxis 2D. Byl vytvořen rovinný numerický model (uvažovaná rovinná deformace) s respektováním chronologické posloupnosti jednotlivých fází prováděných sanací. V modelu byly zvoleny 15 uzlové konečné prvky s aproximačními polynomickými funkcemi 4 řádu.

ŠÍŘKA MODELU [m]	VÝŠKA MODELU [m]	POČET KONEČNÝCH PRVKU [-]	POČET UZLŮ [-]
78	38	3315	27032

Tab. 7.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY MODELU

GEOMETRICKÉ A GEOTECHNICKÉ PARAMETRY MODELU

Z projektové dokumentace [6] [7] [8] byla vytvořena geometrie modelu náspu. Skladba podloží včetně parametrů zemin byla převzata z [9] [10]. Polohy jednotlivých vrstev byly vyhodnoceny z penetračních zkoušek provedených v řezu se staničením km 87,050.

KOLEJNICOVÉ PODPORY

Ekvivalentní modul pružnosti betonového pražce byl podle [11] [12] upraven o vzdálenost mezi pražci. Třída betonu pražce je C45/55 a $E_{pr} = 36$ GPa.

$$r_{pr} = A_{pr} / A_t = A_{pr} / (A_{pr} + A_{soil}) = 0,24 / 0,65 = 0,37 \quad (1)$$

$$E = r_{pr} \times E_{pr} = 0,37 \times 36 = 13,32 \text{ GPa} \quad (2)$$

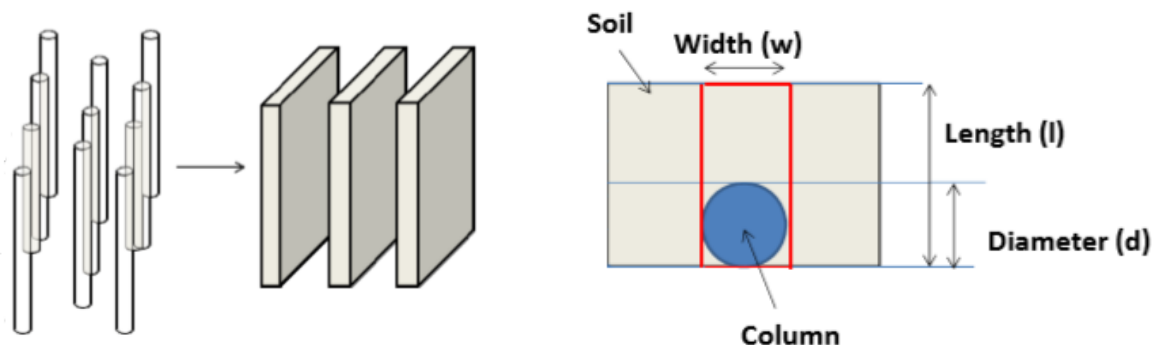
HLOUBKOVÉ ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN

Průměr DSM pilíře je 0,6 m a jsou instalovány v osové vzdálenosti v podélném směru po 1,2 m. Deformační parametr $E_{col} = 2$ GPa byl převzat z [11]. Ekvivalentní modul pružnosti byl stanoven váženým průměrem mezi modulem pilíře a modulem okolní přilehlé zeminy podle [13]:

$$r_{col} = A_{col} / A_t = (0,25 \times \pi \times 0,6^2) / (0,6 \times 1,2) = 0,39 \quad (3)$$

$$r_{soil} = 1 - r_{col} = 1 - 0,39 = 0,61 \quad (4)$$

$$E = (r_{col} \times E_{col}) + (r_{soil} \times E_{soil}) = (0,39 \times 2000) + (0,61 \times 6) = 844 \text{ MPa} \quad (5)$$



Obr. 7.4 TRANSFORMACE DSM PILÍŘŮ [13]

Požadovaná pevnost v prostém tlaku byla uvažována jako 3,5 MPa [11] [3]. Z této hodnoty byly přepočtem podle [14] stanoveny ostatní pevnostní parametry:

$$\varphi = 35^\circ$$

$$c = 0.0035 \times 2^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} = \sqrt{\frac{f_{ck}}{100}} = \sqrt{\frac{3,5}{100}} = 0,187 \text{ MPa} \quad (6)$$

Při modelování DSM byly na kontaktu pilíř zeminu redukovány parametry prvkem $R_{inter} = 0,75$.

OPĚRNÉ GABIONOVÉ STĚNY

Mezi další sanační opatření patří vytvoření gabionových stěn v patách náspu [15]. V rámci projektu byly navrženy svařované gabionové koše o rozměrech 100 x 100 x 200 cm (š x v x d) s velikostí oka 10 x 10 cm. Min. průměr drátu je 4 mm s min. pevností svaru ve smyku 4 kN s tahovou pevností drátu min. 400 MPa. Jako výplňový materiál je použito drcené kamenivo frakce 150-200 mm. Minimální objemová hmotnost činí 1600 kg / m³. Vstupní parametry pro gabionové stěny byly uvažovány podle [11].

VYZTUŽENÍ PODLOŽÍ GGR A GCE

Součástí sanace je konstrukční vrstva vyztužená geosyntetiky překrývající hlavy pilířů DSM. V konstrukční vrstvě jsou použity geobuňky výšky 200 mm z HDPE s tahovou pevností $T_{ult} = 15,9 \text{ MPa}$ a $E = 450 \text{ MPa}$ [11] a výztužná geomřížka s tahovou pevností 1390 kN/m s maximálním procentuálním přetvořením 15 %. Výplňový

materiál geobuňek je štěrkodrt. Maximální teoreticky dosažitelná tuhost geomřížky byla převzata z [11]. Matrace z geobuňek je v modelu nahrazena materiálem ekvivalentní pevnosti s parametry deformace stanovených podle prací [16] [17] [2] [11]. Vychází se z nelineárního konstitučního modelu pro výplňový materiál s navýšenou pevností díky vyztužení geobuňkami:

$$E_i = K_r P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n = 1257 \times 100 \times \left(\frac{38}{100} \right)^{0,43} = 83\,316 \text{ kN/m}^2 \quad (7)$$

$$c_r = \frac{\Delta\sigma_3}{2} \sqrt{K_p} = \frac{38}{2} \times \sqrt{3,0} = 33 \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_3 = \frac{2M}{d_0} \left[\frac{1 - \sqrt{1 - \xi_a}}{1 - \xi_a} \right] = \frac{2 \times 450}{0,24} \left[\frac{1 - \sqrt{1 - 0,02}}{1 - 0,02} \right] = 38 \text{ kPa} \quad (9)$$

$$K_r = K_e + 200M^{0,16} = 725 + 200 \times 450^{0,16} = 1257 \quad (10)$$

d	počáteční ekvivalentní průměr jedné buňky
M	sečnový modul deformace materiálu geobuňky
ξ_a	poměrné přetvoření pro stanovení sečnového modulu deformace materiálu geobuňky
K_p	koeficient pasivního zemního tlaku pro výplňový materiál geobuňek
$\Delta\sigma_3$	zvýšení bočního napětí v prostoru geobuňky
c_r	soudržnost materiálu vrstvy zemní desky z geobuňek
E_i	počáteční tečnový Youngův modul pružnosti zemní desky z geobuňek
K	koeficient modulu pružnosti výplňového materiálu
n	exponent modulu pružnosti výplňového materiálu
P_a	atmosférický tlak

ZATÍŽENÍ

Zatížení od železniční dopravy je uvažováno jako rovnoměrné spojitě zatížení 80 kN/m.

7.6 MATERIÁLOVÉ MODELY A VSTUPNÍ PARAMETRY

Vzhledem k malému množství laboratorních zkoušek zemin z lokality byl jako materiálový model zvolen MOHR-COULOMB MODEL (dále jako MC). MC byl použit pro

většinu materiálů použitých v modelu vyjma materiálů SIT_GABIONU a VYZTUZNA_GEOMRIZ, kde byl použit materiálový model ELASTIC.

MATERIÁL		γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	c' [kN/m ²]	ϕ' [°]
1	PRECHOD_A	19,0	20,5	20,0	0,30	2,5	33,0
2	ELUVIUM	18,5	20,0	9,0	0,30	4	30,0
3	RULA	28,0	28,0	600,0	0,30	5600	39,5
4	KOLEJOVE_LOZE_ZNECISTENE	20,0	22,0	70,0	0,25	2,5	35,0
5	NASEP_B	18,0	19,0	4,5	0,28	2,9	30,0
6	NAVAZKA	17,0	18,0	8,9	0,25	4	30,0
7	PRECHOD_B	18,5	19,0	11,0	0,28	2,5	32,0
8	NASEP_A	18,0	19,0	7,0	0,28	2,8	30,0
9	HLINITY_STERK	19,0	20,5	60,0	0,30	4	36,0
10	GABION_VYPLN	18,0	19,0	20,0	0,20	100	35,0
11	ZASYP	18,0	19,0	12,0	0,30	4	33,0
12	DSM	20,0	21,0	844,0	0,30	187	35,0
13	ZEMNI_DESKA	17,5	19,0	80,0	0,30	33	30,0
14	KOLEJOVE_LOZE	20,0	22,0	110,0	0,25	1	38,0

Tab. 7.2 VSTUPNÍ HODNOTY PRO MC MODEL

MATERIÁL (ELASTIC)		TYP PRVKU	EA [kN/m]
1	SIT_GABIONU	GEOGRID	19E3
2	VYZTUZNA_GEOMRIZ	GEOGRID	12,86E3

Tab. 7.3 VSTUPNÍ HODNOTY PRO ELASTIC MODEL

7.7 FÁZE VÝPOČTU

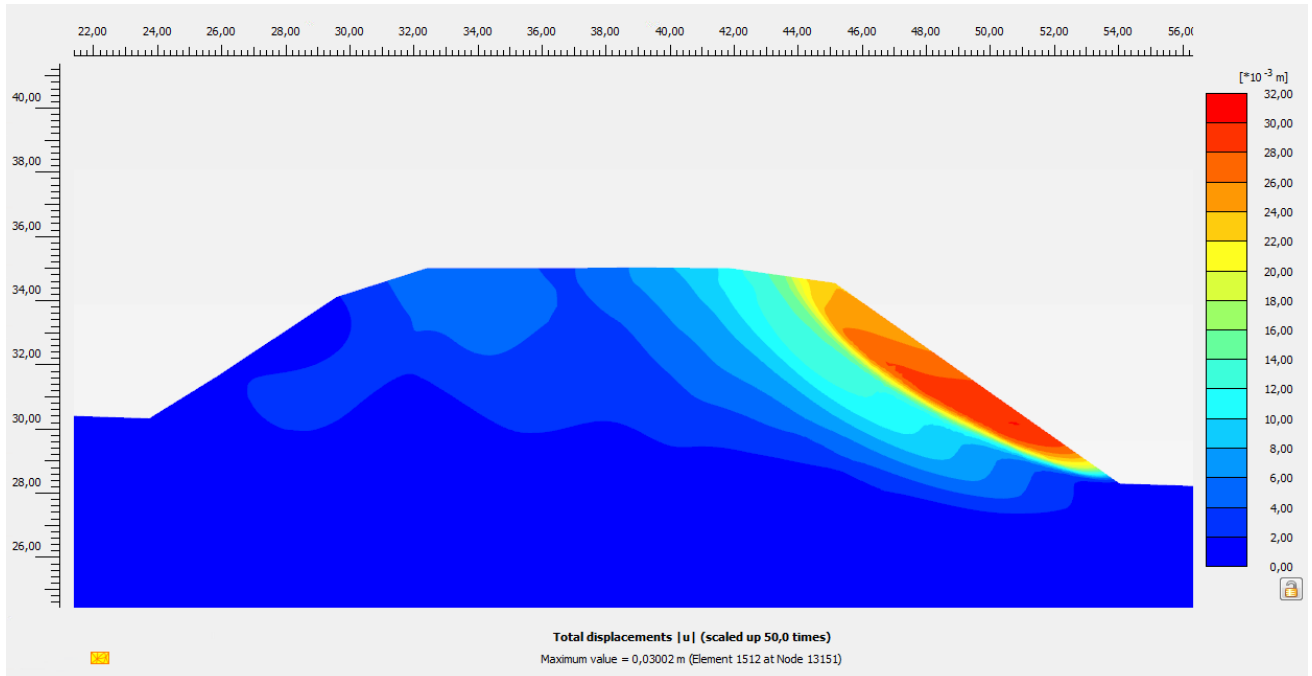
Fáze výpočtu respektují chronologický postup prací. V programu Plaxis 2D je toto umožněno pomocí „loading type - staged construction“. Jednotlivé fáze jsou uvedeny v tab. 7.4.

ČÍSLO FÁZE	NÁZEV FÁZE	POPIS	TYP
F0	INITIAL PHASE	VÝPOČET PŮVODNÍ NAPJATOSTI PŘED SANACÍ	INITIAL GRAVITY LOADING
F1	PUV.NAPJ.	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO PŮVODNÍHO STAVU BEZ ZMĚN V GEOMETRII	PLASTIC
F2	PUV. STAB.	VÝPOČET STABILITY PŮVODNÍHO DOPRAVOU NEZATÍŽENÉHO NÁSPOVÉHO TĚLESA	STABILITY
F3	PUV. +25 NAPJ.	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO PŮVODNÍHO STAVU SE ZATÍŽENÍM 25 kN/m	PLASTIC
F4	PUV. +25 STAB.	VÝPOČET STABILITY PŮVODNÍHO STAVU SE ZATÍŽENÍM 25 kN/m	STABILITY
F5	ODKOP NAPJ.	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO STAVU PO PROVEDENÍ ODKOPU	PLASTIC
F6	ODKOP STAB.	VÝPOČET STABILITY PO PROVEDENÍ ODKOPU	STABILITY
F7	+GAB+ZASYP	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO STAVU PO VYBUDOVÁNÍ GAB. ZDÍ A ZÁSYPŮ	PLASTIC
F8	+DSM	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO STAVU PO PROVEDENÍ DSM	PLASTIC
F9	SAN. NAPJ.	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO STAVU PO PROVEDENÍ KOMPLETNÍ SANACE (VČETNĚ GCE+GGR) BEZ ZATÍŽENÍ ŽEL. DOPRAVY	PLASTIC
F10	SAN. STAB.	VÝPOČET STABILITY PO PROVEDENÍ KOMPLETNÍ SANACE (VČETNĚ GCE+GGR) BEZ ZATÍŽENÍ ŽEL. DOPRAVY	STABILITY
F11	SAN. +80 NAPJ.	VÝPOČET NAPJATOSTNĚ-DEFORMAČNÍHO STAVU S KOMPLETNÍ SANACÍ VČETNĚ ZATÍŽENÍ 80 kN/m	PLASTIC
F12	SAN. +80 STAB.	VÝPOČET STABILITY NÁSPU PO KOMPLETNÍ SANACI VČETNĚ ZATÍŽENÍ 80 kN/m	STABILITY

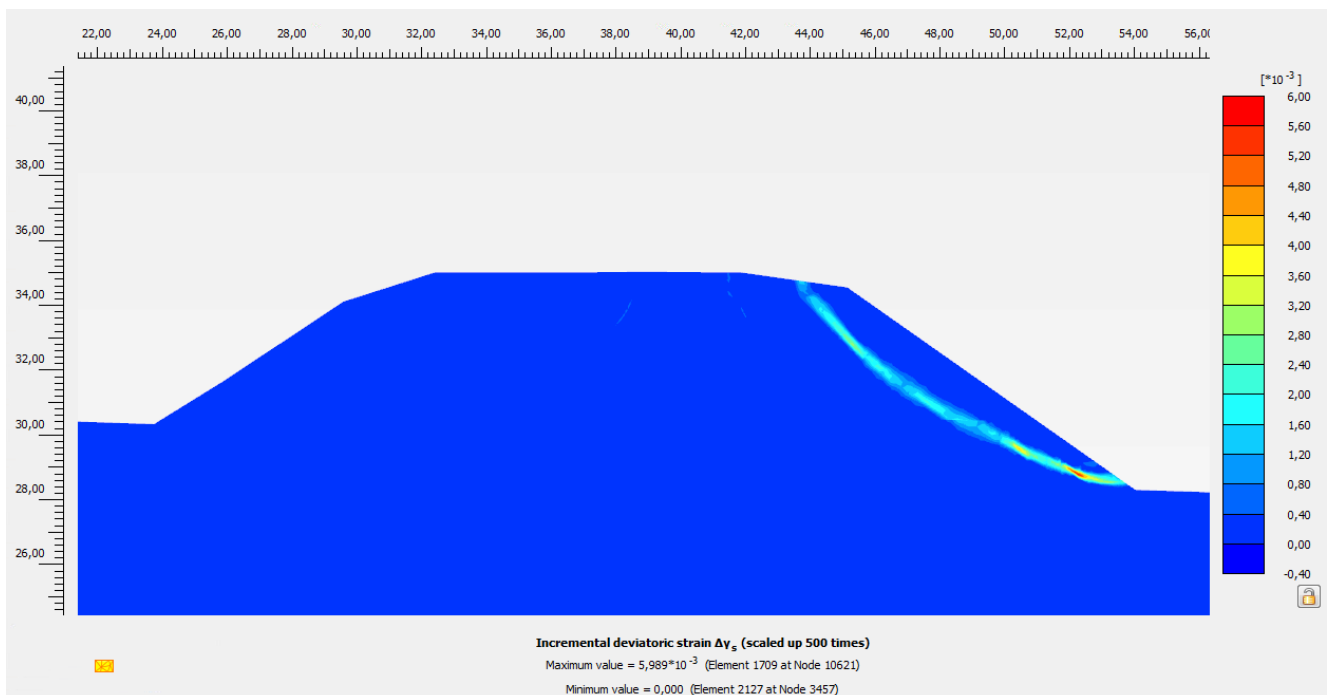
Tab. 7.4 FÁZE VÝPOČTU

7.8 POSOUZENÍ STABILITY NÁSPU PŘED PROVEDENÍM SANACE

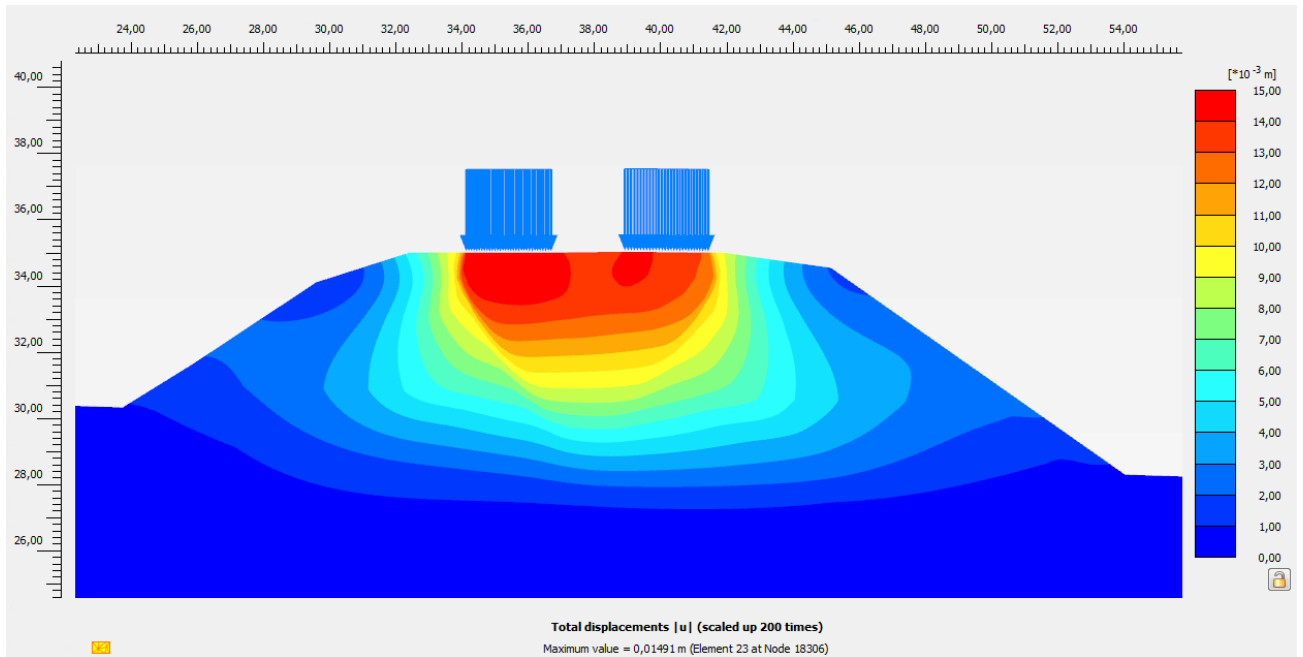
Stupeň stability násповého tělesa původního stavu vychází $F = 1,15$. Při zatížení železniční dopravou 80 kN/m není model schopen toto zatížení přenést. Ve fázích výpočtu původního stavu bylo proto počítáno pouze s dílčím zatížením 25 kN/m .



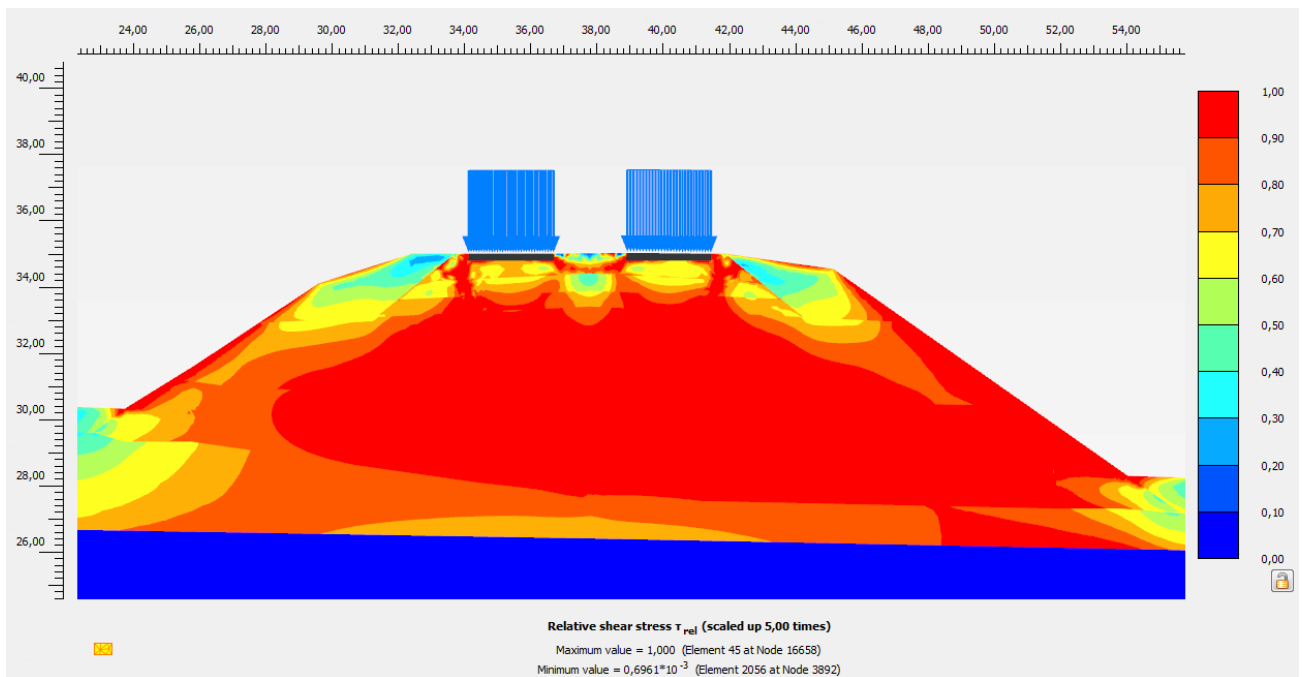
Obr. 7.5 FÁZE 2: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA NEZATÍŽENÉHO DOPRAVOU, IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ)



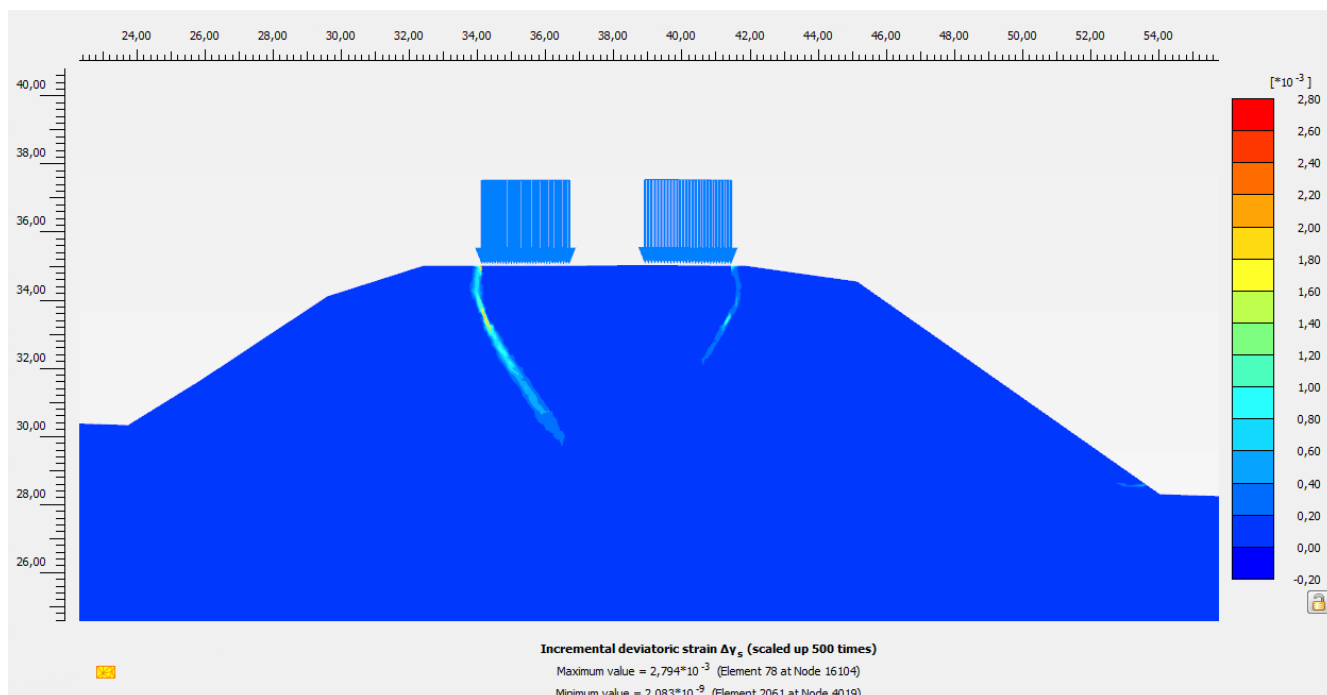
Obr. 7.6 FÁZE 2: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA NEZATÍŽENÉHO DOPRAVOU, DEVIATORICKÉ PŘETVOŘENÍ)



**Obr. 7.7 FÁZE 3: IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ OD ZATÍŽENÍ
DOPRAVOU 25 kN/m – PŮVODNÍ TĚLESO**



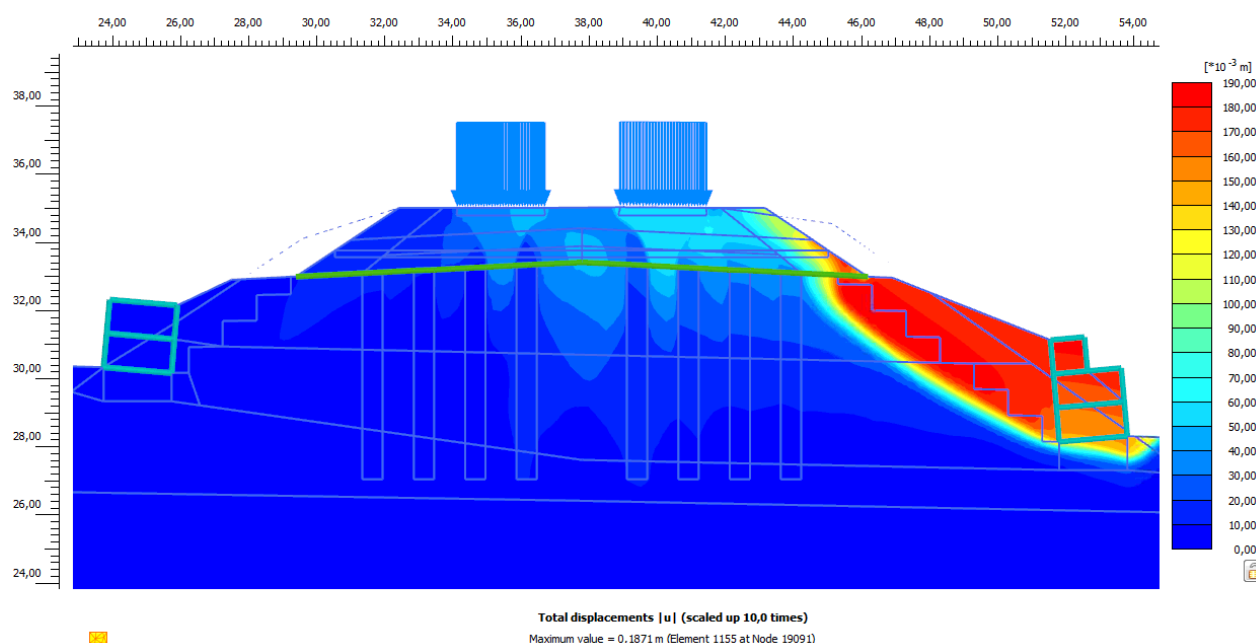
**Obr. 7.8 FÁZE 3: IZOPLOCHY RELATIVNÍCH HODNOT ČERPANÝCH SMYKOVÝCH PEVNOSTÍ OD
ZATÍŽENÍ DOPRAVOU 25 kN/m – PŮVODNÍ TĚLESO**



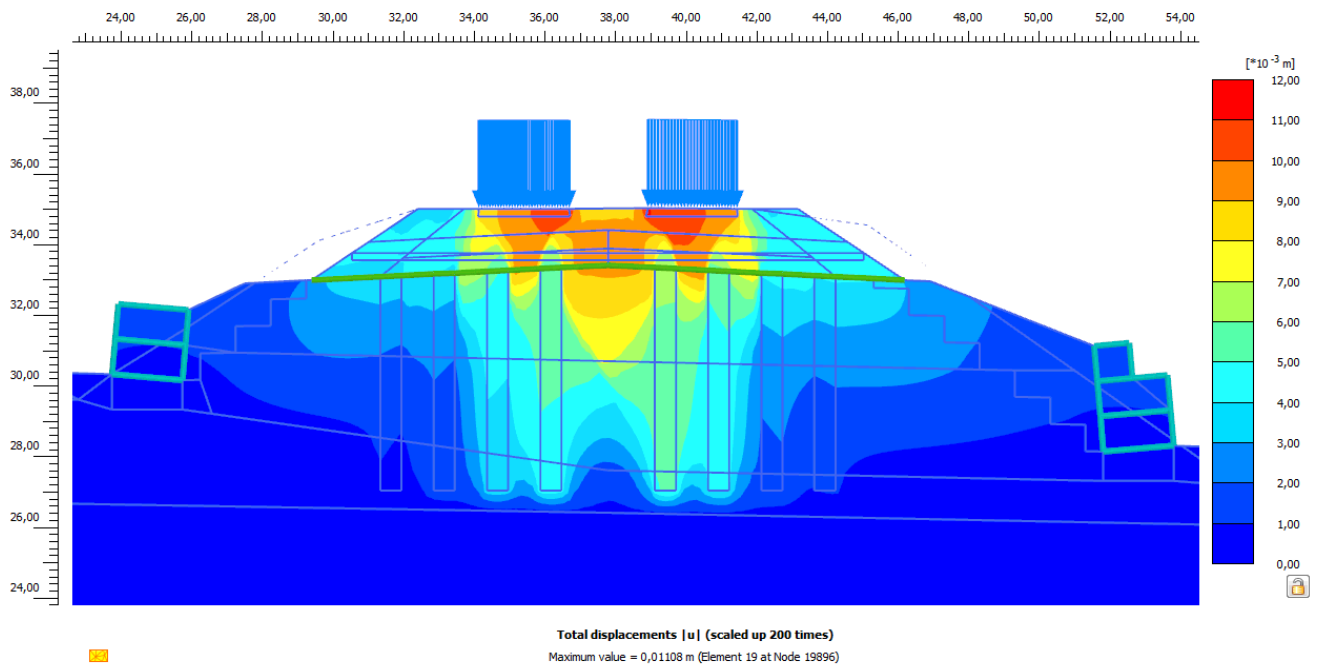
Obr. 7.9 FÁZE 4: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA ZATÍŽENÉHO DOPRAVOU 25kN/m, DEVIATORICKÉ PŘETVOŘENÍ)

7.9 POSOUZENÍ STABILITY NÁSPU PRO NAVRŽENÉ SANACE

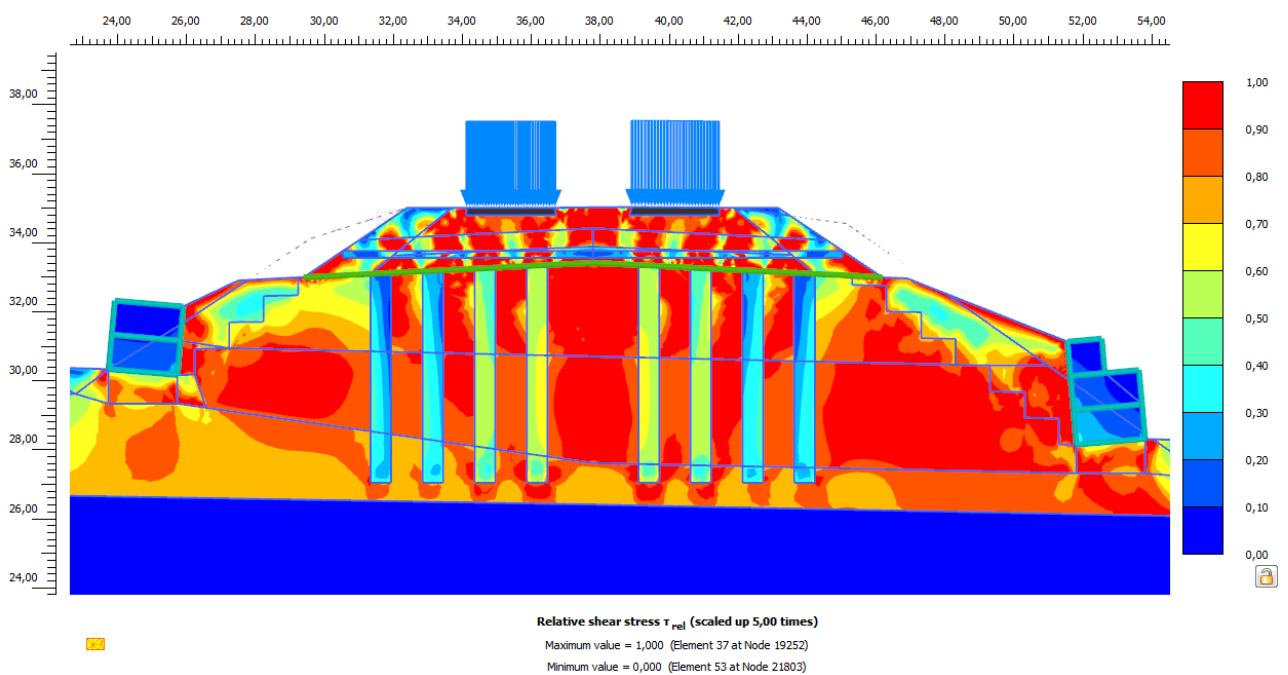
Stupeň stability po provedení sanace je $F = 1,63$. Model již plně přenáší zatížení železniční dopravou 80 kN/m.



Obr. 7.10 FÁZE 12: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA SANOVANÉHO TĚLESA ZATÍŽENÉHO DOPRAVOU 80kN/m, IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ)



**Obr. 7.11 FÁZE 11: IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ OD ZATÍŽENÍ
DOPRAVOU 80 kN/m – SANOVANÉ TĚLESO**



**Obr. 7.12 FÁZE 11: IZOPLOCHY RELATIVNÍCH HODNŮ ČERPANÝCH SMYKOVÝCH PEVNOSTÍ OD ZATÍŽENÍ
DOPRAVOU 80 kN/m – SANOVANÉ TĚLESO**

8. ZÁVĚR

Modelovým výpočtem se prokázal nedostatečný stupeň stability svahů stávajícího stavu $F = 1,13$. Zatížení od železniční dopravy vyšší jak 25 kN/m model nepřenesl, což odpovídá skutečnosti neustálého porušování GPK. Jak je z obr. 7.7 zřejmé, celkové posuny od dopravy při uvažovaném zatížení 25 kN/m dosahují až 15 mm . In-situ je pak patrné, že převažuje tendence k dalším deformacím.

Z důvodu výše uvedeného nesplňovalo těleso železničního náspu v zájmovém úseku požadavky na plynulost a bezpečnost drážní dopravy. Projevily se zde vlivy dlouhodobého ukládání materiálu sanačních čističek na hrany a povrch náspu a nevhodně zvolené zeminy pro konstrukci tělesa náspu.

Navržené opatření ve formě tížných gabionových zdí v obou patách svahů náspu zajistilo zvýšení stupně stability na $F = 1,63$. DSM pilíře spolu s vytvořenou zemní deskou s geosyntetickými materiály zajistily dostatečnou distribuci zatížení do únosnějších poloh pod náspem. Při plném zatížení železniční dopravou 80 kN/m byly celkové posuny kolejového roštu 11 mm s předpokladem setrvalého stavu.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A MATEM. VÝRAZŮ

E	modul přetvárnosti (deformační odolnosti)
E_0	minimální požadovaný modul přetvárnosti na zemní pláni
E_{pl}	minimální požadovaný modul přetvárnosti na pláni tělesa žel. spodku
$E_{p,zlep}$	modul přetvárnosti na vrstvě zlepšené zeminy
$E_{p,stab}$	modul přetvárnosti na vrstvě stabilizace
I_d	index relativní ulehlosti
GTX	geotextilie
GTX-R	geotextilie výztužná
GTX-S	geotextilie separační
GTX-F	geotextilie filtrační
GTX-P	geotextilie ochranná
$d_{t,max}$	maximální velikost pórů geotextilie
d_{90}	průměr zrna zeminy při 90% propadu
GBR	geomembrána
GBR-P	geomembrána polymerní izolační prvek
GBR-B	geomembrána asfaltový izolační prvek
GBR-C	geomembrána jílový izolační prvek
GCO	geokompozit
GNT	geosítě
GSP	georozpěrka
GGR	geomříž
e_{max}	číslo pórovitosti při nejnakypřenějším uložení zrn
e_{min}	číslo pórovitosti při nejulehlejším uložení zrn
S	zatlačení roznášecí podložky
B	šířka roznášecí podložky
GPK	geometrická poloha koleje
DPM	středně těžká dynamická penetrační zkouška
DPH	těžká dynamická penetrační zkouška
DSM	deep soil mixing
TENT-T	transevropská dopravní síť

TUDU	kód traťového definičního úseku
TSI	technické specifikace interoperability
KJŘ	knižní jízdní řád
E_{pr}	modul pružnosti pražce
E_{col}	modul pružnosti DSM pilíře
E_{soil}	modul pružnosti okolní zeminy pilíře DSM
A_{col}	půdorysná plocha DSM pilíře
r_{col}	redukční parametr pilíře DSM
r_{soil}	redukční parametr okolní zeminy pilíře DSM
φ	úhel vnitřního tření
c	koheze
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku (válcová)
T_{ult}	maximální tahová pevnost
d	počáteční ekvivalentní průměr jedné buňky
M	sečnový modul deformace materiálu geobuňky
ξ_a	poměrné přetvoření pro stanovení sečnového modulu deformace materiálu geobuňky
K_p	koeficient pasivního zemního tlaku pro výplňový materiál geobuňek
$\Delta\sigma_3$	zvýšení bočního napětí v prostoru geobuňky
c_r	soudržnost materiálu vrstvy zemní desky z geobuňek
E_i	počáteční tečnový Youngův modul pružnosti zemní desky z geobuňek
K	koeficient modulu pružnosti výplňového materiálu
n	exponent modulu pružnosti výplňového materiálu
P_a	atmosférický tlak
MC	Mohr-Coulomb
F	stupeň stability
γ_{unsat}	objemová tíha nenasycené zeminy
γ_{sat}	objemová tíha plně nasycené zeminy
γ	objemová tíha
ν	Poissonovo číslo
MKP	metoda konečných prvků

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 DĚLENÍ ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA [1].....	4
Obr. 2.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA [1]	4
Obr. 3.1 TYP 1 [1].....	5
Obr. 3.2 TYP 2 [1].....	6
Obr. 3.3 TYP 3 [1].....	6
Obr. 3.4 TYP 4 [1].....	7
Obr. 3.5 TYP 5 [1].....	8
Obr. 3.6 TYP 6 [1]	8
Obr. 4.1 DÁVKOVÁNÍ PŘÍMĚSI [23]	11
Obr. 4.2 ZEMNÍ FRÉZA [18].....	11
Obr. 5.1 FUNKCE GEOSYNTETIK [19].....	14
Obr. 5.2 ZÁKLADNÍ TYPY GEOTEXTILÍ [19].....	15
Obr. 5.3 SEPARACE VRSTEV	16
Obr. 5.4 PŘÍČNÝ ŘEZ KONSTRUKCE S POUŽITOU GEOTEXTILÍ A ODVODNĚNÍM DO TRATIVODU [1]	16
Obr. 5.5 PŘÍČNÝ ŘEZ KONSTRUKCE S POUŽITOU GEOMEMBRÁNOU A ODVODNĚNÍM DO TRATIVODU [1].....	18
Obr. 5.6 NEJČASTĚJŠÍ KOMBINCE PRO GEOKOMPOZITY [19].....	18
Obr. 5.7 DĚLENÍ DLE USPOŘÁDNÍ TAHOVÝCH PRVKŮ.....	19
Obr. 5.8 DĚLENÍ DLE TUHOSTI GEOMŘÍŽKY [19].....	19
Obr. 5.9 VZNIK KLENBOVÉHO EFEKTU [19].....	20
Obr. 5.10 TVARY TAHOVÝCH PRVKŮ.....	20
Obr. 5.11 VLIV TUHOSTI GEOMŘÍŽKY NA STABILITU OKA PŘI ZATÍŽENÍ.....	21
Obr. 5.12 DISTRIBUCE NAPĚTÍ V ZEMINĚ [19]	21
Obr. 5.13 ROZLOŽENÉ GEOBUŇKY	22
Obr. 5.14 ZAPLNĚNÍ JEDNOTLIVÝCH BUNĚK MATERIÁLEM [24].....	22
Obr. 5.15 SESTAVA PRO PROVÁDĚNÝ EXPERIMENT [2]	23
Obr. 5.16 TAHOVÉ PEVNOSTI GGR X GCE [2]	23
Obr. 5.17 ZATÍŽENÍ V ZÁVISLOTI NA ZATLAČENÍ PODLOŽKY [2]	24
Obr. 6.1 FÁZE ZEMINY.....	26
Obr. 6.2 USPOŘÁDÁNÍ ZRN NESOUDRŽNÝCH ZEMIN.....	27

Obr. 6.3 VIBRÁTOR S HORNÍM PLNĚNÍM [3].....	27
Obr. 6.4 SÍLY OD EXCENTRU [21].....	28
Obr. 6.5 TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR.....	28
Obr. 6.6 PROVÁDĚNÍ VIBRAČNÍHO ZHUTŇOVÁNÍ [20].....	28
Obr. 6.7 VIBRÁTOR S DOLNÍM PLNĚNÍM [3].....	29
Obr. 6.8 RASTRY PRO PROVÁDĚNÍ.....	30
Obr. 6.9 PROVÁDĚNÍ VIBRAČNÍHO VPĚCHOVÁNÍ [20].....	30
Obr. 6.10 STLAČENÍ MEZILEHLÉ ZEMINY.....	31
Obr. 6.11 PORUŠENÍ NÁSPU	31
Obr. 6.12 PRACOVNÍ NÁSTROJ PRO DSM.....	32
Obr. 6.13 HLAVA DSM PILÍŘE.....	32
Obr. 6.14 PRACOVNÍ POSTUP DSM [3].....	33
Obr. 6.15 SOUPRAVA BAUER BG 20 H PŘI SANACI NESTABILNÍHO NÁSPOVÉHO TĚLESA V ŽST. ŽDÁR N. SÁZAVOU.....	33
Obr. 7.1 POLOHA ZÁJMOVÉ OBLASTI [22].....	35
Obr. 7.2 VYZNAČENÍ ŘEŠENÉHO NÁSPU [9].....	36
Obr. 7.3 PŮVODNÍ STAV ÚSEKU PŘED SANACÍ.....	37
Obr. 7.4 TRANSFORMACE DSM PILÍŘŮ [13].....	40
Obr. 7.5 FÁZE 2: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA NEZATÍŽENÉHO DOPRAVOU, IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ).....	44
Obr. 7.6 FÁZE 2: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA NEZATÍŽENÉHO DOPRAVOU, DEVIATORICKÉ PŘETVOŘENÍ).....	44
Obr. 7.7 FÁZE 3: IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ OD ZATÍŽENÍ.....	45
Obr. 7.8 FÁZE 3: IZOPLOCHY RELATIVNÍCH HODNOT ČERPANÝCH SMYKOVÝCH PEVNOSTÍ OD ZATÍŽENÍ DOPRAVOU 25 kN/m – PŮVODNÍ TĚLESO.....	45
Obr. 7.9 FÁZE 4: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA PŮVODNÍHO TĚLESA ZATÍŽENÉHO DOPRAVOU 25kN/m, DEVIATORICKÉ PŘETVOŘENÍ).....	46
Obr. 7.10 FÁZE 12: POLOHA KRITICKÉ SMYKOVÉ PLOCHY (STABILITA SANOVANÉHO TĚLESA ZATÍŽENÉHO DOPRAVOU 80kN/m, IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ).....	46
Obr. 7.11 FÁZE 11: IZOPLOCHY CELKOVÝCH POSUNŮ OD ZATÍŽENÍ.....	47
Obr. 7.12 FÁZE 11: IZOPLOCHY RELATIVNÍCH HODNOT ČERPANÝCH SMYKOVÝCH PEVNOSTÍ OD ZATÍŽENÍ DOPRAVOU 80 kN/m – SANOVANÉ TĚLESO.....	47

11. SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 POŽADOVANÉ MINIMÁLNÍ HODNOTY MODULU PŘETVÁRNOSTI [1].....	9
Tab. 4.1 VHODNOST POUŽITÍ PŘÍMĚSÍ (PRO ZLEPŠENÍ I STABILIZACE) [1]	10
Tab. 4.2 NÁVHOVÉ PARAMETRY ZEMIN ZLEPŠENÝCH POJIVEM [1].....	11
Tab. 4.3 OZNAČENÍ ZLEPŠENÝCH ZEMIN [1]	12
Tab. 4.4 NÁVHOVÉ PARAMETRY STABILIZACE [1].....	12
Tab. 4.5 OZNAČNÍ DRUHŮ STABILIZACÍ [1].....	13
Tab. 7.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY MODELU.....	39
Tab. 7.2 VSTUPNÍ HODNOTY PRO MC MODEL	42
Tab. 7.3 VSTUPNÍ HODNOTY PRO ELASTIC MODEL.....	42
Tab. 7.4 FÁZE VÝPOČTU	43

12. ZDROJE

1. předpis SŽDC S4.
2. Experimental and numerical studies on geocell reinforced sand beds. *Hedge, Amarnath a Thallak, Sitharam G. 2006.*
3. Hlubkové zlepšování zemin v české praxi. *Svoboda, Petr. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-663-8.*
4. Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České Republiky. *Bína, Jan a Demek, Jaromír. Praha : ACADEMIA, 2012. ISBN 978-80-200-2026-0.*
5. Geofond Praha.
6. WALTEC GDS, s.r.o. DSP-REZY 2018-09-05-BLAHA-PASEKA-STAB. 2018.
7. —. ZDAR GTN REZY. 2018.
8. —. ZDAR1 GTN REZ_87_050. 2018.
9. KOLEJOVÉ ÚPRAVY V ŽST. ŽDÁR NAD SÁZAVOU, PODROBNÝ GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM. WALTEC GDS, s.r.o. 2018.
10. akce GTP násep Žďár nad Sázavou: číslo zakázky ... *Křetinský, Vítězslav. Brno : GEOTest, a.s., 2018.*
11. Výzkumná zpráva č. HS12860009L. VUT FAST - ústav geotechniky. Brno, 2018.
12. Předpjaté betonové pražce: Rektifikační podpora. *ŽPSV OHL GROUP. 2014.*
13. *Tatarniuk, Catherine. Deep Soil Mixing as s Sloupe Stabilization on Technique in Northland Allochthon Residual Caly Soil. New Zealand : University of Canterbury, 2014.*
14. *Ardiaca, Dusko Hadzijanev. Mohr-Coulomb parameters for modelling of concrete structures. Plaxis Bulletin, Spring issue. [Online] 2009.*
15. WALTEC GDS, s.r.o. Technická zpráva, akce Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou. 2019.
16. Numerical Modeling of Geocell Reinforced Soil Foundations. *Dash, Sujit Kumar, Latha, G. Madhavi a Rajagopal, K. India : International Congress on Computational Mechanics and Simulation, 2006.*
17. NONLINEAR ANALYSIS OF STRESS AND STRAIN IN SOILS . *Duncan, M. a Chang, Chin-Yung. místo neznámé : SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS DIVISION , 1970.*
18. [Online] <http://www.viafrez.cz/zemni-freza.php>.
19. *Ižvolt, Libor. Železničný spodok. místo neznámé : EDIS, 2008. ISBN-9788080708023.*

20. [Online] <https://www.kellergrundbau.cz/>.
21. Račanský, Václav. 03 - Zlepšování zemin, Hlubkové zlepšování, Vibrované štěrkové pilíře.
22. *Mapy Google*. [Online] maps.google.cz.
23. *Speciální zemní práce ve stavebnictví*. Hornická skripta. [Online] <http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/geotech/geotech.htm>.
24. *vertico*. Retenční nádrž v areálu KNAUF Insulation, Krupka u Teplic. [Online] www.vertico.cz.
25. http://geologie.vsb.cz/reg_geol_cr/2_kapitola.htm
26. <https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geobunky/>
27. SŽDC SR 70 účinnost od 1. prosince 2009
28. ČD SR 103/7 (S) – 4 SR103/7(S) účinnost od 1. 1. 2005
29. Směrnice SŽDC č. 34
30. www.spravazeleznic.cz [Online]
31. <https://provoz.szdc.cz/> [Online]
32. Všeobecné technické podmínky projektová dokumentace pro stavební povolení VTP/DSP/08/18 Příloha č. 3 b), Správa železniční dopravní cesty, státní organizace